

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Ondřej Neoral

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Využití LED svítidel pro osvětlování přechodů pro chodce
Use of LED Luminaires for Pedestrian Crossings illumination

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Neoral**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Využití LED svítidel pro osvětlování přechodů pro chodce**
Use of LED Luminaires for Pedestrian Crossings illumination
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- Svítidla a světelné zdroje používaná pro přechody pro chodce
- Osvětlování přechodů
- Parametry ovlivňující viditelnost chodců na přechodu
- Návrh osvětlení přechodu s využitím svítidel s LED světelnými zdroji s volbou různé náhradní teploty chromatičnosti
- Optimalizace osvětlovacích soustav na přechodech na základě měření reálné osvětlovací soustavy

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Předpis TKP15 - Osvětlování přechodů

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 29. 4. 2019


.....

Podpis studenta

Poděkování

„Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Karlu Sokanskému, Csc., za jeho vytrvalost, připomínky a velmi cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.“

Abstrakt

Účelem této bakalářské práce bylo měření nevyhovující osvětlovací soustavy přechodu pro chodce a následný návrh její optimalizace s použitím LED svítidel podle normy ČSN P 35 0455, přesněji předpisu TKP 15, ve kterém je popsán postup správného návrhu přisvětlení přechodu pro chodce. V teoretické části je rozebrána problematika osvětlování přechodu, parametry ovlivňující viditelnost chodců na přechodu a světelné zdroje používané pro přechody pro chodce.

Praktická část obsahuje měření reálného přechodu pro chodce a následné výpočty horizontální a vertikální osvětlenosti. Na kontrolovaném úseku byly pořízeny také jasové snímky v době přecházení chodce přes přechod, na základě, kterých se vytvořila jasová analýza. Zhodnocení jasové analýzy bylo vypracováno s použitím programu LMK LabSoft. Poté se provedlo zhodnocení měření, ze kterého byl vypracován návrh optimalizace přechodu v programu Dialux Evo.

Klíčová slova

LED svítidlo, přechod pro chodce, osvětlovací soustava, jasová analýza, směr jízdy, osvětlenost

Abstract

The purpose of this bachelor thesis was to measure unsatisfactory lighting system for pedestrian crossing and its subsequent optimization proposal using LED luminaires according to ČSN P 35 0455, more precisely TKP regulation 15, which describes the procedure of correct design of pedestrian crossing light. In the theoretical part, the issue of transition lighting, parameters affecting pedestrian visibility and light sources used for pedestrian crossings are discussed.

The practical part includes measurement of real pedestrian crossing and subsequent calculations of horizontal and vertical illumination. Luminous imagery was also taken at the time of crossing the pedestrian across the transition based on the luminance analysis. Evaluation of luminance analysis was performed using the LMK LabSoft program. Thereafter, a measurement evaluation was carried out, from which the design of the transition optimization in Dialux Evo was developed.

Keywords:

LED luminaire, pedestrian crossing, lighting system, luminance analysis, driving direction, illuminance

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	- 3 -
Seznam ilustrací	- 6 -
Seznam tabulek.....	- 8 -
Seznam vzorců	- 9 -
1 Úvod.....	- 10 -
2 Svítidla a světelné zdroje používané pro přechody pro chodce	- 11 -
2.1 Parametry světelných zdrojů	- 11 -
2.1.1 Osvětlenost E.....	- 11 -
2.1.2 Svítivost I	- 12 -
2.1.3 Světelný tok Φ	- 12 -
2.1.4 Náhradní teplota chromatičnosti T_c	- 13 -
2.1.5 Měrný světelný výkon η	- 13 -
2.1.6 Index podání barev R_a	- 14 -
2.2 Svítidla	- 15 -
2.2.1 Optika LED svítidel.....	- 15 -
2.2.2 Křivky svítivosti	- 15 -
2.3 Světelné diody – LED	- 16 -
2.3.1 Trend růstu měrného světelného výkonu	- 16 -
2.3.2 Generování barev pomocí RGB	- 18 -
2.3.3 Generování barev pomocí luminoforu.....	- 18 -
2.3.4 Vlastnosti LED	- 19 -
3 Osvětlování přechodů.....	- 20 -
3.1 Posuzované prostory	- 20 -
3.2 Vymezení prostoru	- 21 -
3.3 Požadavky na přisvětlení.....	- 22 -
3.4 Umístění svítidla	- 23 -
3.5 Barva světla	- 24 -
4 Parametry ovlivňující viditelnost chodců na přechodu	- 25 -
4.1 Zrakové vnímání	- 25 -
4.2 Kontrast	- 27 -
4.2.1 Stejný kontrast	- 27 -

4.2.2	Negativní kontrast	- 27 -
4.2.3	Pozitivní kontrast.....	- 27 -
4.3	Adaptační pásma	- 28 -
4.4	Rozhledové poměry.....	- 29 -
4.5	Činitel odrazu	- 30 -
5	Měření reálné soustavy.....	- 31 -
5.1	Popis měřené soustavy	- 31 -
5.2	Měření stávajících parametrů přechodu	- 33 -
5.2.1	Postup měření	- 33 -
5.2.2	Naměřené a vypočtené hodnoty osvětlenosti	- 35 -
5.3	Vyhodnocení měření	- 39 -
5.4	Jasová analýza	- 41 -
5.5	Zhodnocení jasové analýzy	- 43 -
6	Návrh optimalizace osvětlení	- 44 -
6.1	Popis optimalizace reálného přechodu.....	- 45 -
6.2	Výsledky a porovnání optimalizovaného přechodu	- 46 -
7	Závěr	- 49 -
	Seznam použité literatury	- 50 -

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symboly	Veličina	Jednotka
E	osvětlenost	(lx)
z	udržovací činitel	(-)
dA	osvětlená plocha	(m ²)
dΦ	hustota světelného toku	(lm)
I	svítivost	(cd)
dΩ	prostorový úhel	(sr)
Φ(λ)	světelný tok dané vlnové délky λ	(lm)
KΦ	světelná účinnost dané vlnové délky λ	(lm/W)
Φe	zářivý tok dané vlnové délky λ	(W)
Tc	náhradní teplota chromatičnosti Tc	(K)
η	měrný světelný výkon	(lm/W)
P	elektrický příkon	(W)
Ra	index podání barev	(-)
λ	vlnová délka	(nm)
Ech	osvětlenost chodce	(lx)
Lkom	jas komunikace	(cd/m ²)
ρ	střední činitel odrazu světla chodce	(-)
Lch	jas chodce	(cd/m ²)
Ev	vertikální osvětlenost	(lx)
Evm	průměrná vertikální osvětlenost	(lx)
Evmin	minimální vertikální osvětlenost	(lx)
EH	horizontální osvětlenost	(lx)
Ehm	průměrná horizontální osvětlenost	(lx)
Ehmin	minimální horizontální osvětlenost	(lx)
Emp	průměrná osvětlenost adaptačních pásem	(lx)
U0	rovnoměrnost osvětlenosti	(-)
S	plocha	(m ²)
π	matematická konstanta – Ludolfovo číslo	(-)

$L_{př}$	jas přechodu	(cd/m ²)
L_{po}	jas pozadí	(cd/m ²)

Zkratka	Význam
TKP 15	Technické kvalitativní požadavky kapitola 15
VO	Veřejné osvětlení
GENEREL	Dokument pro plánování rozvoje VO v daném městě
V7	Vodorovné dopravní značení přechodu pro chodce
LED	Světelná dioda (light-emitting diode)
ČSN	Česká technická norma
Tc	Náhradní teplota chromatičnosti
PN	Positive, negative
COB LED	Chip on board light-emitting diode
CNS	Centrální nervová soustava

Seznam ilustrací

Obrázek 1.:Osvětlenost	- 11 -
Obrázek 2.:Definice svítivosti.....	- 12 -
Obrázek 3.:Různé hodnoty indexu podání barev.....	- 14 -
Obrázek 4.:Asymetrická křivka svítivosti	- 15 -
Obrázek 5.:Schéma LED diody	- 16 -
Obrázek 6.:Trend růstu měrného světelného výkonů LED	- 17 -
Obrázek 7.:Porovnání různých zdrojů v trendu růstu výkonu v průběhu let.....	- 17 -
Obrázek 8.:Kolorimetrický trojúhelník	- 18 -
Obrázek 9.:Vyznačování Tc na vlnové délce	- 18 -
Obrázek 10.:Rozdělení přechodu bez ostrůvku.....	- 20 -
Obrázek 11.:Posuzovaný prostor s rozdělením přechodu ostrůvkem.....	- 21 -
Obrázek 12.:Rastr hodnot.....	- 21 -
Obrázek 13.:Osvětlenost svislé roviny 3 metry od svítidla	- 23 -
Obrázek 14.:Pozice svítidel pro navržení pozitivního kontrastu	- 24 -
Obrázek 15.:Popis zrakového vnímání řidiče.....	- 26 -
Obrázek 16.:Stejný jas chodce a pozadí	- 27 -
Obrázek 17.:Negativní kontrast.....	- 27 -
Obrázek 18.:Pozitivní kontrast	- 27 -
Obrázek 19.:Rozhled z vozidla na chodce	- 29 -
Obrázek 20.:Viditelnost chodce s různou barvou oblečení	- 30 -
Obrázek 21.:Lokalizace měřeného přechodu	- 31 -
Obrázek 22.:Noční fotodokumentace přechodu při směru jízdy k servisu.....	- 31 -
Obrázek 23.:Geometrické vlastnosti reálného přechodu.....	- 32 -
Obrázek 24.:Údaje o použitém zdroji a svítidle pro přechod pro chodce	- 32 -
Obrázek 25.:Údaje o použitém zdroji a svítidle pro VO	- 32 -
Obrázek 26.:Použité měřicí přístroje	- 33 -
Obrázek 27.:Zvolený rastr k měření přechodu	- 34 -
Obrázek 28.:Rastr pro adaptační pásma směrem k mostu.....	- 34 -
Obrázek 29.:Rastr hodnot směrem k servisu	- 35 -
Obrázek 30.:Jasová analýza přechodu ve směru jízdy k mostu	- 41 -
Obrázek 31.:Fotodokumentace ve směru jízdy k mostu.....	- 41 -

Obrázek 32.:Jasová analýza přechodu směrem jízdy k servisu.....	- 42 -
Obrázek 33.:Fotodokumentace ve směru jízdy k servisu	- 43 -
Obrázek 34.:Dialux Model ul.Jana Palacha	- 44 -
Obrázek 35.:Dialux Model horizontální a vertikální osvětlenosti.....	- 44 -
Obrázek 36.:Nové svítidlo.....	- 45 -
Obrázek 37.:Navržená poloha svítidla	- 45 -
Obrázek 38.:Nepravé barvy reálného přechodu v programu Dialux.....	- 47 -
Obrázek 39.:Nepravé barvy navrženého přechodu v programu Dialux	- 47 -
Obrázek 40.:Optimalizovaný přechod s chodcem v základním prostoru	- 48 -
Obrázek 41.:Reálný přechod s chodcem v základním prostoru	- 48 -

Seznam tabulek

Tabulka 1.:Teplota chromatičnosti s různými světelnými zdroji [1].....	13 -
Tabulka 2.:Přehled měřených výkonů běžně vyráběných světelných zdrojů [1]	14 -
Tabulka 3.:Udržovaná průměrná svislá osvětlenost [4]	22 -
Tabulka 4.:Osvětlenost chodce pro třídy osvětlenosti [6]	23 -
Tabulka 5.:Adaptační pásma [2]	28 -
Tabulka 6.:Rozhledové poměry [12]	29 -
Tabulka 7.:Naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti [lx] pro směr jízdy k servisu. -	35 -
Tabulka 8.:Vypočtené hodnoty vertikální osvětlenosti [lx] pro směr jízdy k servisu -	36 -
Tabulka 9.:Naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti [lx] pro směr jízdy k mostu -	37 -
Tabulka 10.:Vypočtené hodnoty vertikální osvětlenosti [lx] pro směr jízdy k mostu -	37 -
Tabulka 11.:Naměřené hodnoty horizontální osvětlenosti [lx] přechodu pro chodce -	37 -
Tabulka 12.:Vypočtené hodnoty horizontální osvětlenosti [lx] přechodu pro chodce -	37 -
Tabulka 13.:Hodnoty horizontální osvětlenosti VO [lx] pro směr jízdy k mostu	38 -
Tabulka 14.:Hodnoty horizontální osvětlenosti VO [lx] pro směr jízdy k servisu.....	38 -
Tabulka 15.:Vypočtené hodnoty VO, neboli adaptačních pásem	38 -
Tabulka 16.:Vypočtené hodnoty VO bez posledních měřících bodů	39 -
Tabulka 17.:Zvolené hodnoty požadované udržované osvětlenosti	40 -
Tabulka 18.:Naměřené hodnoty jasové analýzy směrem jízdy k mostu	42 -
Tabulka 19.:Naměřené hodnoty jasové analýzy směrem jízdy k servisu.....	43 -
Tabulka 20.:Porovnání vertikální osvětlenosti směrem jízdy k mostu.....	46 -
Tabulka 21.:Porovnání vertikální osvětlenosti směrem jízdy k servisu	46 -
Tabulka 22.:Porovnání horizontální osvětlenosti	46 -
Tabulka 23.:Porovnání průměrných osvětleností chodce.....	48 -

Seznam vzorců

(2.1) Osvětlenost	- 11 -
(2.2) Svítivost	- 12 -
(2.3) Světelný tok	- 12 -
(2.4) Měrný světelný výkon	- 13 -
(3.1) Osvětlenost chodce	- 23 -
(4.1) Odraznost oděvu chodce	- 30 -
(5.1) Výpočet osvětlenosti	- 33 -
(5.2) Rovnoměrnost osvětlenosti	- 33 -
(5.3) Příklad výpočtu osvětlenosti	- 36 -
(5.4) Více hodnot osvětlenosti	- 36 -
(5.5) Průměrná osvětlenost	- 40 -
(5.6) Kontrast přechodu a pozadí	- 42 -
(5.7) Kontrast chodce a pozadí	- 42 -

1 Úvod

Tato bakalářská práce řeší osvětlení přechodu pro chodce vůči snížené hodnotě osvětlenosti VO. V dnešní době je navrženo mnoho komunikací, ale ne vždy lze narazit na správně nasvětlený přechod pro chodce. Přechody patří mezi jedny z nejnebezpečnějších míst v dopravě. Proto se tato práce zabývá právě snížením nebezpečných faktorů, a tudíž i návrhem správného přisvětlení přechodu.

Z důvodu úspory elektrické energie a vynikajících světelně technických parametrů přibývá více a více osvětlených komunikací a přechodů pro chodce s využitím LED svítidel, proto je dobré se zabývat právě přechody osazenými svítidly s LED technologií. Pro měření i následný návrh jsou použita svítidla s asymetrickou křivkou svítivosti, která jsou pro osvětlování přechodů s pozitivním kontrastem nejvhodnějším řešením.

Měření a vyhodnocení všech parametrů je provedeno dle normy ČSN P 36 0455, přesněji předpisu TKP 15 dodatek č. 1. V praktické části je vybrán přechod pro chodce s LED svítidly, který je součástí státního programu na podporu úspor elektrické energie umístěný v městě Bohumín ul. Jana Palacha. Z měření jsou vypočteny hodnoty průměrné udržované horizontální osvětlenosti, adaptačních pásem (VO) a průměrné udržované vertikální osvětlenosti přechodu základního a doplňkového prostoru v obou směrech, jak je popsáno již zmiňovanou normou. Následně byly vyfoceny snímky chodce v různých pozicích na přechodu pro vytvoření jasové analýzy.

Po zhodnocení měření byl vytvořen návrh optimalizace přechodu se zachováním reálných geometrických vlastností vozovky a přechodu v programu Dialux Evo.

2 Svítidla a světelné zdroje používané pro přechody pro chodce

Jako světelné zdroje byly dříve nejvíce používány vysokotlaké sodíkové výbojky, které se vyznačovaly velkou účinností, tudíž byly nejekonomičtějším řešením v oblasti veřejného osvětlení. To ovšem v dnešní době už neplatí a výbojky nahrazují mnohem účinnější LED svítidla. Při volbě světelného zdroje je důležitý světelný tok, tak aby se docílilo dostatečující kvantitativní hodnoty. Z kvalitativního hlediska se nejvíce zaměřujeme na náhradní teplotu chromatičnosti, kvůli zajištění barevného kontrastu mezi ostatními svítidly komunikace.

U svítidel pro přechody pro chodce jsou hlavně používány speciální reflektory s asymetrickou křivkou svítivosti, aby se dosáhlo požadované vertikální osvětlenosti a zároveň malého oslnění protijedoucích vozidel na komunikaci. [1]

2.1 Parametry světelných zdrojů

Vlastnosti světelných zdrojů určují právě tyto parametry: měrný světelný výkon, index podání barev, náhradní teplota chromatičnosti a světelný tok. Dále ovšem závisí i na napětí, provozní teplotě životnosti atd... [1]

2.1.1 Osvětlenost E

Osvětlenost nebo také intenzita osvětlení E je popsána jako plošná hustota světelného toku $d\Phi$ dopadajícího na osvětlovanou plochu dA , která je popsána vztahem:

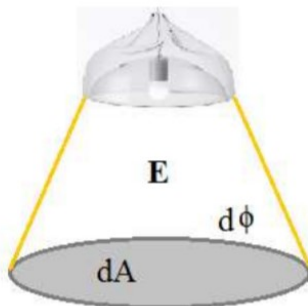
$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.1)$$

Kde:

dA = osvětlená plocha (m^2)

$d\Phi$ = hustota světelného toku (lm)

E = osvětlenost (lx)



Obrázek 1.: Osvětlenost [1]

2.1.2 Svítivost I

Svítivost je prostorová hustota světelného toku. Jednotkou svítivosti je candela (cd). Vyjadřuje jaké množství je vyzářeno zdrojem v prostorovém úhlu do daného směru. Určíme ji výpočtem:

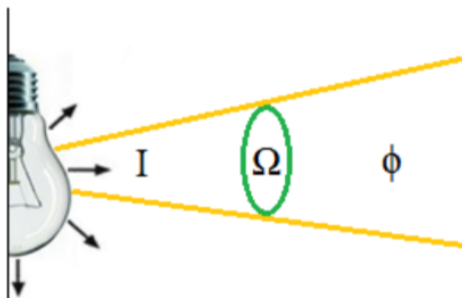
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.2)$$

Kde:

I = svítivost (cd)

$d\Phi$ = hustota světelného toku (lm)

$d\Omega$ = prostorový úhel (sr)



Obrázek 2.: Definice svítivosti [1]

[1]

2.1.3 Světelný tok Φ

Popisuje, jaké množství energie vyžáří zdroj do svého okolí. Je dán typem a druhem světelného zdroje. Světelný tok je vlastně množství světla vyzářeného světelným zdrojem za jednotku času. Jednotkou světelného toku je lumen (lm), který můžeme vypočítat následovně:

$$\Phi(\lambda) = K_{\Phi} \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (2.3)$$

Kde:

$\Phi(\lambda)$ = světelný tok dané vlnové délky λ (lm)

$K_{\Phi}(\lambda)$ = světelná účinnost dané vlnové délky λ (lm · W⁻¹)

$\Phi_e(\lambda)$ = zářivý tok dané vlnové délky λ (W)

[1]

2.1.4 Náhradní teplota chromatičnosti Tc

K popsání barevné vlastnosti světla, se musí počítat s tzv. náhradní teplotou chromatičnosti. Jde o poměr červené a modré složky spektra v bílém světle posuzovaného zdroje. Pokud má zdroj více červené složky, jde teplota chromatičnosti k nižším hodnotám, naopak pokud převažuje modrá tak teplota směřuje k vyšším hodnotám. Jsou rozeznávány tři primární druhy barvy světla a to teple bílou, která má nejnižší hodnotu 3 300K, poté bílou do 5 000K a denní nad 5 000K.

Náhradní teplota chromatičnosti světla je u LED svítidel preferovaná výrobci v těchto řadách: 2700K, 3000K, 4000K a 6500K. Díky těmto hodnotám je možné na osvětlených komunikacích vytvořit barevný kontrast vůči VO.

[1] [3]

Tabulka 1.: Teplota chromatičnosti s různými světelnými zdroji [1]

Druh světelného zdroje	Tc (K)
Zářivka studené denní světlo	6 500 a více
Zářivka denní světlo	5 400
Jasná obloha	6 500
Slunce v létě v poledne	5 500
Slunce při západu	3 500 – 4 000
Plamen svíčky	1 800
Vysokotlaká sodíková výbojka	2 000
LED	volitelné

2.1.5 Měrný světelný výkon η

Představuje velikost světelné energie, která se přemění z elektrické energie, tedy popisuje vztah mezi produkovaným světelným tokem a elektrickým příkonem světelného zdroje.

Měrný výkon vypočítáme ze vztahu:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2.4)$$

Kde:

η = měrný světelný výkon (lm/W)

Φ = světelný tok (lm)

P = elektrický příkon (W)

[1]

Tabulka 2.: Přehled měřených výkonů běžně vyráběných světelných zdrojů [1]

Druh světelného zdroje	Příkon (W)	Měrný výkon (lm/W)
Žárovka	15 - 200	6 - 15
Halogenová žárovka	10 – 2 000	14 - 26
Kompaktní zářivka	5 - 60	56 - 88
Indukční výbojka	50 - 400	70 - 93
Rtuťová výbojka	50 – 1 000	50 - 80
Vysokotlaká sodíková výbojka	50 - 1000	88 - 150
Světelná dioda	1 - 20	více než 150
Xenonový výbojka	25 – 10 000	Až 95
Plazmový světelný zdroj	až 250	Až 85

V tabulce 2 je zvýrazněno porovnání mezi vysokotlakými sodíkovými výbojkami a světelnými diodami, kde je patrné, že světelné diody oproti výbojkám dokáží vytvořit z menšího příkonu daleko větší světelný tok, proto se také v současné době primárně instalují místo vysokotlakých sodíkových výbojek. [1]

2.1.6 Index podání barev Ra

Index podání barev udává věrohodnost barev v porovnání s přirozeným světlem. Jedná se o bezrozměrnou veličinu s rozsahem hodnot od 0 do 100, kdy nejvyšší hodnota znamená věrné podávání barev jako při denním světle. Naopak světelný zdroj s hodnotou $R_a=0$ vyzařuje světelný tok jen v jedné vlnové délce, proto není možné rozeznat barvy.



Obrázek 3.: Různé hodnoty indexu podání barev [5]

2.2 Svítidla

Svítidla rozdělují, mění nebo filtrují světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji a jsou v nich zahrnuty další díly, které jsou potřeba k upevnění nebo ochraně světelných zdrojů včetně světelného zdroje. Pomocné obvody a prostředky pro připojení k síti jsou také součástí některých svítidel. Více než polovina světelných zdrojů vyzařuje světelný tok do celého prostoru. Světelné součásti jako jsou difuzor, refraktor a reflektor neboli optika, slouží ke změně rozložení, usměrnění nebo rozložení světelného toku světelných zdrojů a také k omezení oslnění. Většinou používáme kombinaci těchto tří součástí.

Jedním z dalších funkcí svítidel je filtrování nežádoucích částí spektra vyzařovaného světelným zdrojem. Dále slouží například k upevnění světelného zdroje a dalších světelných částí nebo i k ochraně proti vniknutí prachu a vody. [15]

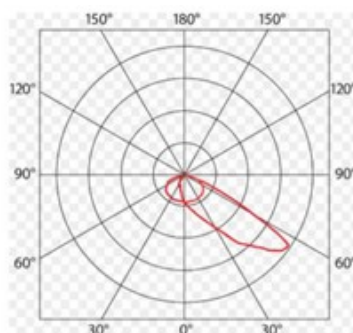
2.2.1 Optika LED svítidel

Optiku LED svítidel dělíme na dva základní typy a to optický systém, který je přímo součástí modulů světelných diod a optický systém usměrňující světelný tok diod, jenž je součástí svítidla.

U prvního optického systému se využívají výkonové světelné diody, které mají velmi malou vyzařovací plochu. V další variantě optického systému svítidel jsou používány vícečipové světelné diody (COB LED), jejichž plocha vyzařování je velká, a tudíž potřebují rozměrnější optický systém. [16]

2.2.2 Křivky svítivosti

Jedná se o vynesení změřených hodnot všech bodů v prostoru pomocí vektorů, z nichž dostaneme prostorové rozložení zdroje. V praxi se používají jen různé typy řezů touto plochou. Nejčastěji se používá systém řezů C-y, kde je osa kolmá k hlavní vyzařovací ploše svítidla. Křivky svítivosti se standardně zaznamenávají pomocí polárních souřadnic, které pak představují šíření světelného toku. Rozeznáváme dva typy a to symetrické a asymetrické. Pro přisvětlení přechodu pomocí pozitivního kontrastu používáme nejčastěji svítidla s asymetrickou křivkou svítivosti. Díky této křivce svítivosti, která je zobrazena na obrázku 4, je možné získat nejlepší vertikální osvětlenost chodce přecházejícího přes přechod a případně se i vyhnout možnému oslnění řidiče. [15]

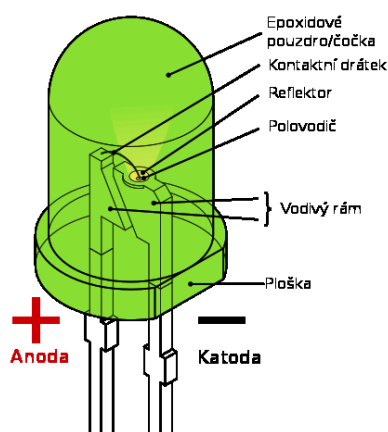


Obrázek 4.: Asymetrická křivka svítivosti [15]

2.3 Světelné diody – LED

LED diody využívají princip polovodičového PN přechodu, ve kterém dochází při průchodu proudem k rekombinaci elektronů a děr. Při tomto jevu se uvolňuje energie ve formě fotonů nebo se absorbuje v krystalové mřížce, což ovlivňuje teplotu polovodiče.

Kladný náboj je převáděn přes anodu LED diody do vlákna. Další část diody je zapojená k vodivému rámu vedoucímu z katody k zápornému pólu. Epoxidová pryskyřice je navržena tak, aby chránila PN přechod před vnějšími vlivy, a přitom propouštěla co největší množství světla. Na obrázku 5 jsou popsány základní prvky diody.



Obrázek 5.: Schéma LED diody [9]

Závislost proudu na napětí má stejný průběh jako běžná polovodičová dioda. Rozdíl je ovšem u koncových napětí v propustném a závěrném směru.

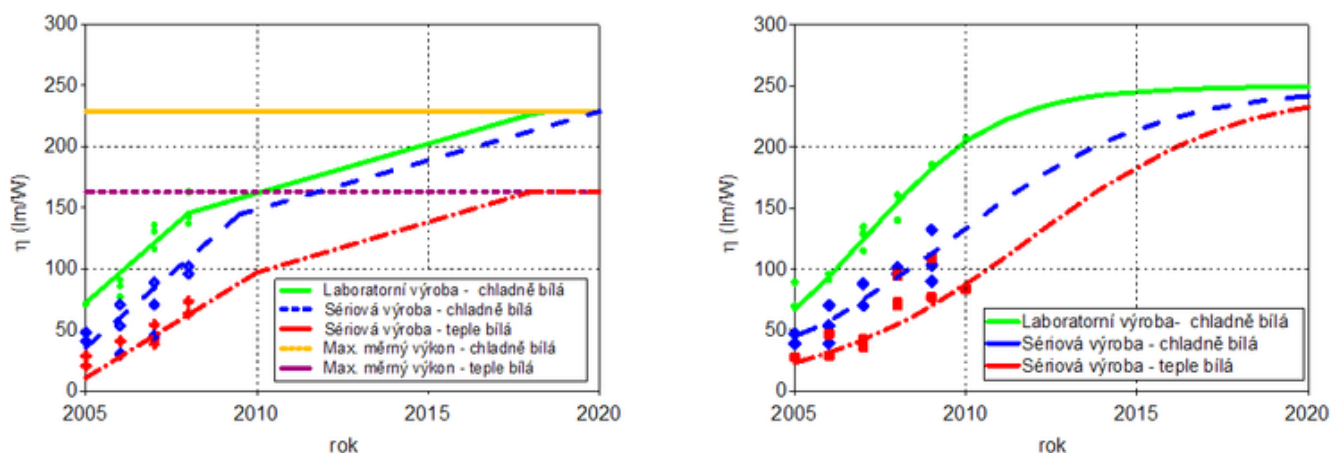
Pokud se zvyšuje napětí od nuly, tak se z počátku proud vůbec nemění a chová se jako nevodivá dioda. Od určitého napětí se dioda otevře a na menší zvýšení napětí reaguje rázovým navýšením proudu, proto je lepší k napájení diod používat zdroj proudu. [9]

2.3.1 Trend růstu měrného světelného výkonu

Se zavedením LED diod na trh proběhly velmi významné změny struktury výrobců světelných zdrojů. Dříve bylo téměř nemožné kvůli technické náročnosti výroby získat větší podíl na trhu. To ovšem už neplatí díky vzniku diody, která je založena na postupu výroby polovodičových součástek. Tímto faktem se počet výrobců velmi zvýšil, a tím i konkurence, která ovlivňuje jak cenu, tak tempo vývoje LED svítidel.

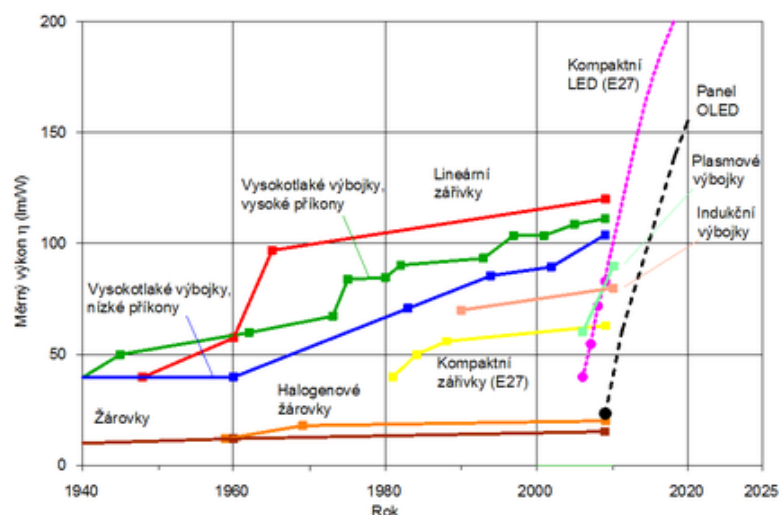
Měrný výkon se zvyšuje každým rokem. Na obrázku 6 je vidět, že se od roku 2005 zvýšil měrný výkon jak chladné, tak teple bílé diody o více než 150 lm/W. Můžeme tedy očekávat, že v roce 2020 dosáhneme výkonu až 250 lm/W.

Jedním z hlavních parametrů, který ovlivní rychlost zavádění světelných diod na trh, bude s největší pravděpodobností cena světelného toku, které tyto diody vyprodukují. [8]



Obrázek 6.: Trend růstu měrného světelného výkonů LED [8]

Do popředí se dostává nejen velký měrný světelný výkon výkon, ale i index podání barev. Obrázek 7 znázorňuje vývoj měrného světelného výkonu, který se v průběhu let u světelných zdrojů moc neposunul až na LED. Ty už ve dnešním roce předčí vysokotlaké sodíkové výbojky jak svým měrným výkonem, tak indexem podání barev, který je taktéž důležitý v oblasti veřejného osvětlení. [8]

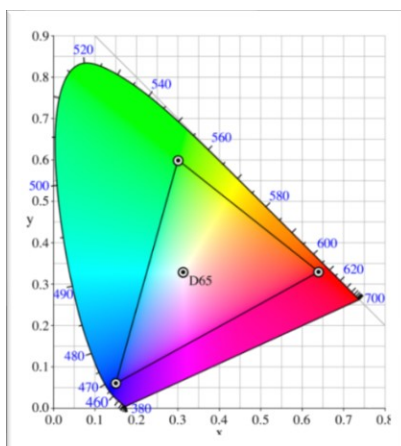


Obrázek 7.: Porovnání různých zdrojů v trendu růstu výkonu v průběhu let [8]

2.3.2 Generování barev pomocí RGB

Tříbarevná LED obsahuje v jednom pouzdru tři polovodičové čipy s červenou, zelenou a modrou barvou světla. RGB umožňují vzájemným mícháním poměrů jednotlivých složek generovat všechny ostatní barvy včetně bílé. Na obrázku 8 je znázorněn kolorimetrický trojúhelník, podle kterého se barvy můžou míchat a také bod bílé barvy.

Výhodou se stává to, že každý čip je řízen samostatně, tudíž můžeme velmi dynamicky míchat barvy.



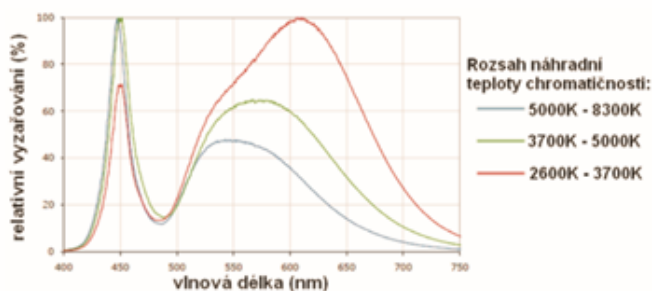
Obrázek 8.: Kolorimetrický trojúhelník [1]

Má to ale i své nevýhody, a to že jednotlivé barvy degradují jinak a také v oblasti okrajového vyzařování můžeme vidět jednotlivé barvy. Tento způsob generování světla zapříčiňuje i nízké podání barev. [1]

2.3.3 Generování barev pomocí luminoforu

Primárním zdrojem světelné energie je čip svítící modře. Část modrého světla je vyzařovaná diodou samotnou a část je přetvořena fosforovým luminoforem na další spektra.

Poměrem těchto dvou složek je možné získat LED s různou barevnou teplotou a podle vlastnosti luminoforu i různé čistoty bílé. Čím větší zastoupení luminoforu, tím více se nám bude zmenšovat náhradní teplota chromatičnosti, to znamená, že bude vyzařovat více červené a méně modré složky. [1]



Obrázek 9.: Vyzařování Tc na vlnové délce [1]

2.3.4 Vlastnosti LED

Mezi hlavní přednosti LED svítidel patří jejich velký měrný světelný výkon. Se správným usměrněním je tedy možné pracovat s malým příkonem. Další věc, ve které předčí vysokotlaké sodíkové výbojky, je index podání barev, který má podstatně větší. Problém u vysokotlakých sodíkových výbojek je, že vyzařují jen ve velmi úzkém spektru, konkrétně v okolí 598 nm, což zapříčiní vyzařování jen žlutých barev.

Velmi podstatnou vlastností je snadná regulovatelnost světelného toku. Kdy ji lze regulovat v plném rozsahu od 0 až do 100 % bez jakéhokoliv úbytku měrného světelného výkonu i bez ohrožení životnosti zdroje.

Dále se oproti výbojkám vyznačují velkou rychlostí spínání. Díky tomu se používají nejen jako veřejné osvětlení, ale i v oblasti telekomunikací.

Z hlediska bezpečnosti je nutné připomenout vliv směřování světelného toku. Díky této vlastnosti je možné usměrnit světelný tok tam, kam opravdu potřebujeme, bez přebytkového oslňování nebo vzniku rušivého světla.

Oproti pozitivním vlastnostem má ovšem i stinné stránky a to hlavně odvod tepla z PN přechodu. Z tohoto důvodu nemůžeme dosáhnout větších hodnot příkonu a pohybujeme se v hodnotách několika wattů. S tímto problémem souvisí snižování životnosti zvyšující se teplotou přechodu. Dalším proti může být také cena, ovšem pořád je to velmi dobrá investice pro zmenšení energetické náročnosti komunikace.

[1][3]

3 Osvětlování přechodů

Osvětlováním přechodů se zabývá předpis TKP15. Jde o předpis vydaný ministerstvem dopravy – oboru pozemních komunikací, ve kterém je řešená problematika pozemních komunikací. Jsou v ní uvedeny základní pojmy, které se týkají bezpečnosti chodců, zajištění viditelnosti na přechodech pro chodce a s tím spojené kvalitativní a technické požadavky na přisvětlení.

3.1 Posuzované prostory

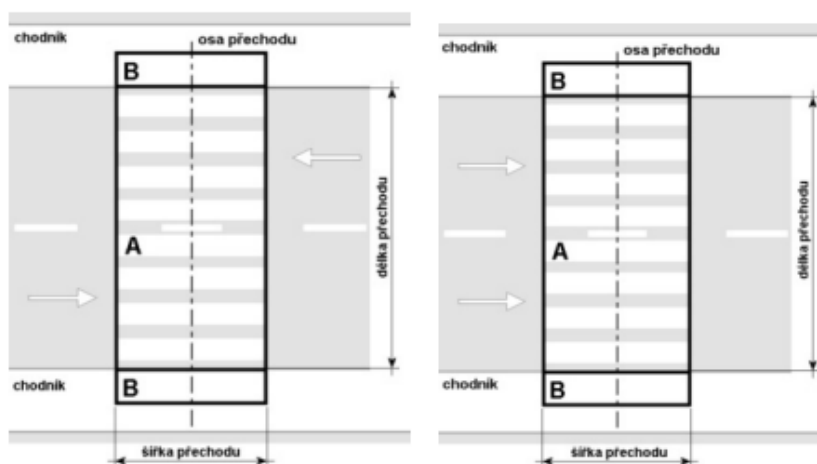
Podle normy rozeznáváme několik různých prostorů, které jsou součástí přechodu.

Základní prostor (A) – je popsán jako prostor, ve kterém je chodec přisvětlován.

Doplňkový prostor (B) – místo o délce jeden metr směrem od komunikace, jenž musí být také přisvětlován, ovšem s nižšími požadavky.

Délka základního prostoru – je vymezena z obou stran rozhraním mezi chodníkem a vozovkou, hlavně se jedná o okraj obrubníku přilehlý ke komunikaci nebo vnější okraj vodičí čáry.

Šířka základního prostoru – je vymezena okraji vodorovného dopravního značení V7 „přechod pro chodce“ [4]

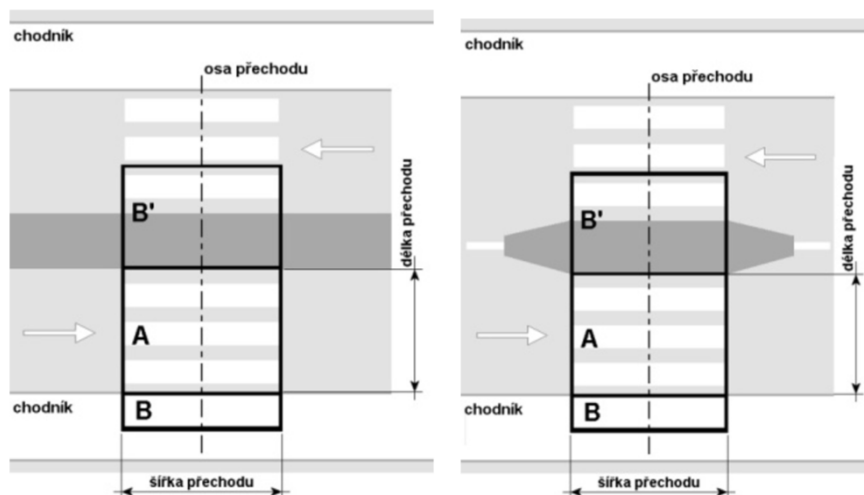


Obrázek 10.: Rozdělení přechodu bez ostrůvku [4]

Doplňkový neprodloužený prostor – je prostor navazující na základní prostor ve směru osy přechodu. Jeho délka je 1 m a šířku má shodnou se šířkou základního prostoru jak můžeme vidět na obrázku 10 a 11.

Doplňkový prodloužený prostor (B') – jedná se o prostor navazující na prostor základní ve směru osy přechodu, který se vytváří na straně případně existujícího středního dělicího pásu, ochranného ostrůvku nebo jiného dopravně bezpečnostního opatření. Má délku 3 m a jeho šířka je také rovna šířce základního prostoru. Je-li délka dělicího pásu nebo ochranného ostrůvku větší než 3 metry, doplňkový prostor se nerealizuje.

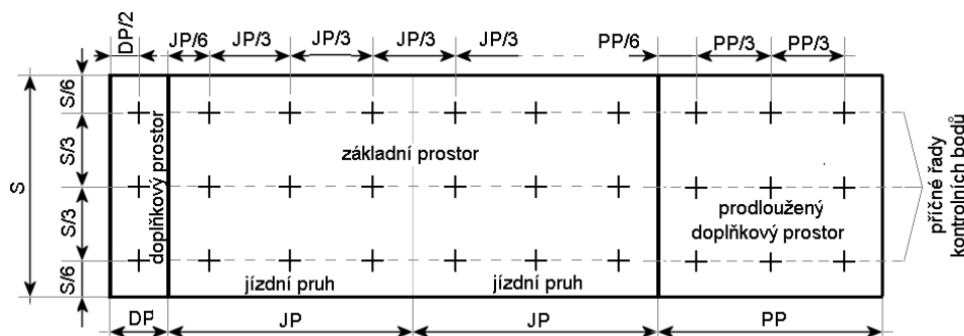
Osa přechodu pro chodce – jde o přímku procházející středem půdorysu přechodu ve směru délky základního prostoru. [4]



Obrázek 11.: Posuzovaný prostor s rozdělením přechodu ostrůvkem [4]

3.2 Vymezení prostoru

Je vytvořen tzv. rastr hodnot, ve kterém jsou umístěny výpočtové body ve srovnávací rovině základního prostoru do třech příčných řad. Tyto řady mají mezi sebou vzdálenost $\frac{1}{3}$ šířky přechodu. První řada je situována v rozpětí šířky přechodu od jeho kraje. Analogicky jsou umístěny tři výpočtové body pro každý jízdní pruh v celé jeho šířce. Pro doplňkový prostor prodloužený platí to samé, ale v doplňkovém prostoru neprodlouženém se dává jen jeden výpočtový bod v jednotlivé řadě, který je umístěn v délce neprodlouženého doplňkového prostoru.



Obrázek 12.: Rastr hodnot [4]

U osvětlovacích soustav se hodnotí tyto hlavní parametry:

- udržovaná průměrná horizontální osvětlenost, která je měřená na úrovni vozovky,
- udržovaná průměrná vertikální osvětlenost ve výšce 1 m nad úrovní vozovky,
- rovnoměrnost udržované osvětlenosti musí být větší než 0,4,
- náhradní teplota chromatičnosti, index podání barev nebo oslnění, které se určí měřením.

[4]

3.3 Požadavky na přisvětlení

V tabulce 3 jsou uvedeny nejmenší a největší dovolené hodnoty udržované průměrné svislé osvětlenosti pro základní a doplňkové prostory. Průměrná svislá osvětlenost doplňkových prostorů by měla podle doporučení dosahovat stejné hodnoty jako v základním prostoru. Přípustný poměr udržované průměrné svislé osvětlenosti základního a doplňkového prostoru musí být v rozsahu 0,5-2

Výběr vychází z udržovaného jasů vozovky, který je zobrazen v tabulce 4. Udržovaný jas vozovky je možné nahradit jasnem pozadí. Pokud je jas vozovky znám, vycházíme z velikosti udržované horizontální osvětlenosti pozemní komunikace. Jas pozadí se dá zjistit také způsobem jasů průmětů do vymezeného prostoru svislým obdélníkem vysokým 2,1 m a dlouhým rovné délce přechodu prodloužené o délky doplňkových prostorů. Obdélník se umísťuje na zadní hranu přechodu rovnoběžně s osou přechodu. Vzdálenost pozorovatele je 60 m před osou přechodu ve výšce 1,5 m nad komunikací a je umístěn ke středu odpovídajícího jízdního pásu. Měření probíhá v nočních hodinách za plného provozu veřejného osvětlení.

[4]

Tabulka 3.: Udržovaná průměrná svislá osvětlenost [4]

Udržovaná hodnota		Udržovaná průměrná svislá osvětlenost (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace (cd.m ⁻²)	horizontální osvětlenosti pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		prostor		všechny prostory
		základní	doplňkový	
1,5 < L	50 < E	přisvětlení se nezřizuje		
1,0 < L ≤ 1,5	30 < E ≤ 50	75	50	200
0,75 < L ≤ 1,0	20 < E ≤ 30	50	30	150
0,5 < L ≤ 0,75	10 < E ≤ 20	30	20	100
L ≤ 0,5	E ≤ 10	15	10	50

3.4 Umístění svítidla

Oko nevnímá osvětlenost jako takovou, ale vnímá jasy. Při nižších adaptačních jasech je možné rozlišit jasy v poměru 1:3. Z toho vyplývá, že jas chodce by měl být alespoň trojnásobně větší než jas vozovky. Vynásobením pravé strany vztahu je vypočtena potřebná osvětlenost chodce na daný jas komunikace.

$$E_{ch} = 3 \cdot L_{kom} \frac{\pi}{\rho} \quad (\text{lx; cd/m}^2, -) \quad (3.1)$$

Kde:

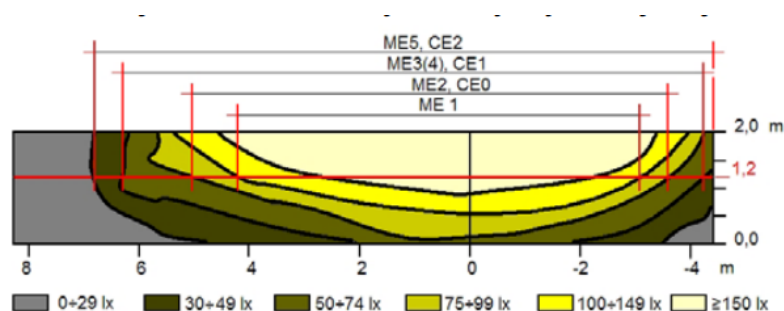
E_{ch} je osvětlenost chodce,

L_{kom} jas komunikace,

ρ střední činitel odrazu světla chodce

Při předpokladu, že $\rho = 0,20$, pro osvětlenost chodce bude platit:

$$E_{ch} = 45 \cdot L_{kom} \quad (\text{lx; cd} \cdot \text{m}^{-2})$$



Obrázek 13.: Osvětlenost svislé roviny 3 metry od svítidla [6]

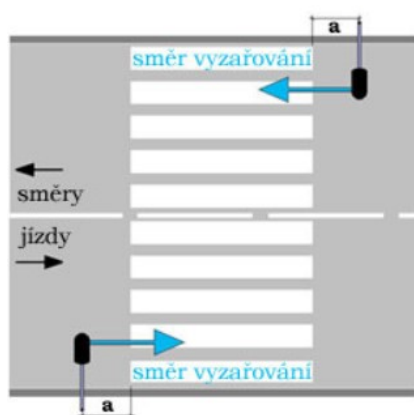
Na obrázku jsou znázorněny grafické výsledky výpočtu osvětlenosti na svislé rovině vzdálené 3 m od svítidla. Svítidlo je ve výšce 6 m nad vozovkou vyloženo tak, že je v počátku souřadnic. Určené požadavky je možné splnit jen v menším výškovém rozmezí, kvůli nerovnoměrné osvětlenosti svislé roviny svítidla, jak je vidět na obrázku. Pro tento poměr jasů 1:3 mezi chodcem a vozovkou jsou zapsány hodnoty svislé osvětlenosti E_v do tabulky 4. [6]

Tabulka 4.: Osvětlenost chodce pro třídy osvětlenosti [6]

Třída	$L_{kom} (\text{cd.m}^{-2})$	$L_{ch} (\text{cd.m}^{-2})$	$E_{ch} (\text{lx})$	$E_v (\text{lx})$
ME1	2,0	6,0	94,3	100
ME2	1,5	4,5	70,7	75
ME3	1,0	3,0	47,1	50
ME4	0,75	2,3	35,3	35 (50)
ME5	0,5	1,5	23,6	25 (30)
ME6	0,3	0,9	14,1	15

Pozn. Třídy osvětlení se nyní značí už jen jedním písmenem M místo ME. Ovšem pokud budeme používat starší publikace nebo jiné zdroje, stále se budeme setkávat s označením třídy ME.

Tyto osvětlenosti jsou zaznamenány jako minimální hodnoty a měly by být dodrženy v ose 1,2 m nad přechodem. Nezapomínejme také osvětlit i chodce před vstupem na přechod, kde bychom měli pro návrh přechodu s pozitivním kontrastem osvětlit alespoň 1 m od krajnice. Obvykle by měla být oblast svítidlem osvětlena před přechodem nejméně třetinou jeho výšky nad vozovkou. Obecně je ale řečeno, že umístění závisí na fotometrických vlastnostech určitého svítidla. Ovšem kvůli dosažení vertikální osvětlenosti chodce nemůže být nikdy vzdálenost svítidla od přechodu menší než nula. Vzdálenost vyložení svítidla „a” od přechodu pro chodce je určena výpočtem v závislosti na výšce vyložení a volbě svítidla tak, aby splňovala průměrné udržované vertikální osvětlenosti základního a doplňkového prostoru. [7]



Obrázek 14.: Pozice svítidel pro navržení pozitivního kontrastu[7]

3.5 Barva světla

Barva světla neboli náhradní teplota chromatičnosti dokáže také nemalou částí přispět k horší viditelnosti chodce na přechodu, proto se musí podle normy rozeznávat frekventované úseky pozemních komunikací, jako například komunikace s nižší intenzitou dopravy, kde převažují pěší komunikace, to mohou být nákupní centra anebo parky. V těchto lokalitách použijeme svítidlo s nižší teplotou chromatičnosti, nejvýše však 3000 K. Opačný případ pro oblast, kde velkou část tvoří hromadná doprava, může být použití barvy světla, až do 5000 K.

V současnosti je výhodnější použít světelné zdroje s teplotou chromatičnosti na horní hranici těchto dovolených hodnot. Pokud by bylo použito svítidlo s nižší hodnotou, bude se u LED svítidel snižovat i zároveň měrný světelný výkon. Vylučujeme také svítidla zapuštěná do země a svítidla s červenou barvou.

Dalším případem jsou jinak zbarvená svítidla z estetického důvodu, kvůli rušení okolního prostředí nebo využití principu mezopického vidění, které zlepší periferní vidění. Poměr náhradních teplot chromatičnosti by měl být v nejmenším poměru 1:1,5, to znamená, že pokud je osvětlena komunikace vysokotlakými sodíkovými výbojkami $T_c=1\ 000\ K$, tak je nutné pro přisvícení přechodu použít světelný zdroj s T_c nejméně 1 500 K. [1]

4 Parametry ovlivňující viditelnost chodců na přechodu

Hlavní příčinou mnoha tragických nehod je nedostatečná viditelnost chodce na přechodu. Auta mají přikázáno zákonem svícení, ale chodci takovou povinnost nemají. Viditelnost chodce nejvíce závisí na zrakovém vnímání řidiče, osvětlení vozidla (svítivost, potkávací, dálková světla) nebo osvětlení místa, kde se chodec vyskytuje. Nezapomínáme ani na stav a povrch vozovky, kde mají mokrá a suchá vozovka různé odraznosti. V neposlední řadě také závisí na poloze a oblečení chodce, které ovlivňuje, z jaké vzdálenosti bude chodec spatřen řidičem vozidla. Pro včasnou viditelnost chodce jsou také velmi důležité rozhledové poměry na přechodu pro chodce.

Snížení rizika střetu chodce s automobilem můžeme zamezit několika způsoby mezi něž patří tyto:

- zdůraznění blikajícím návěštím, popřípadě dopravní značkou,
- navýšení kontrastu,
- použití světelného zdroje s rozdílnou teplotou chromatičnosti od okolního veřejného osvětlení,
- přisvětlení přechodu pro chodce.

[14]

4.1 Zrakové vnímání

Celé zrakové vnímání je řízeno podle toho, které receptory a v jakém počtu se procesu účastní. Pro vidění fotopické (ve dne – čípky), skotopické (v noci – tyčinky), mezopické (za soumraku – čípky s přechodem k tyčinkám).

Uspořádání receptorů na sítnici má přesně zvolená místa s ohledem na jejich funkční postavení při zrakovém vnímání. Podněty zachycené receptory se převádějí do podoby elektrických impulzů na úrovni gangliových buněk, které jsou přímo spojeny s vyššími centry CNS. Na obrázku 15 je popsán dělení gangliových buněk za různých podmínek jasu.

Další věcí je pohledové pole člověka, které je tvořeno polem monokulárním a binokulárním. Celkové pole v horizontální rovině činí 190°, ale pole přesného vidění je jen v oblasti funkce ústřední jamky, podle které se i nazývá vidění foveální.



Úspěšnost zaznamenání podnětu ve foveální úrovni závisí na čtyřech parametrech:

- jas předmětu,
- kontrast,
- velikost a tvar předmětu,
- pohled a doba pozorování.

Největší velikost optimálního zorného pole řidiče při fotopickém vidění je 30°. Při skotopickém vidění (v noci) nejsou k použití skoro žádné zrakové informace potřebné k určení rychlosti nebo rozpoznání podnětu. Řidič se tedy soustřeďuje jen na podněty, které vidí jen ve velmi malém prostorovém úhlu vymezeném úhlovou hodnotou ústřední jamky.

Nutno říci, že reakční doba závisí i na věku, únavě, stresu nebo schopnosti samotného řidiče předvídat. Podle těchto parametrů lze říci, že zorný úhel pro zaznamenání zrakových podnětů za těchto světelných podmínek, kde je prostor vyplněn tmou, bude velmi malý. Úhlová hodnota zorného úhlu ústřední jamky by neměla převyšovat 1,5°. Na obrázku 15 je podrobně popsán postup zrakového vnímání řidiče v závislosti na různých typech vidění.

[10]

Řidič při jízdě			
Parametr	Ve dne	Za soumraku	V noci
Úroveň jasu	3,104	$3 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-3}$
Druh receptoru	Čípky	Čípky - Tyčinky	Tyčinky
Gangliové buňky	W - 28,88 km/h	X - 50,4 km/h	Y - 180 km/h
Označení	Fotopické	Mezopické	Skotopické
Vyšší centrum	Gangliové buňky malé - velké		
Zorné pole	45° - 1,5°	30° - 1,5°	15° - 1,5°
Prostředí	Pestré-barevné	Barevný posun	Nebarevné
Zraková ostrost	Vysoká	Adekvátní kontrastu	Vyšší jen v periférii
Struktura-textura	Binokulární	Omezené	Monokulární-plošné
Rychlost rozlišení	Vysoká	Adekvátní úrovní jasů	Velmi nízká
Stav biol systému	Připravený	V přechodové části	Utlumený
			
Vyhodnocení	Určující odezva		
Vyšší centrum	Fovea centralis		
	Rychlost	Barva	Tvar
			
Odpověď biologického systému na rozpoznání podnět			

Obrázek 15.: Popis zrakového vnímání řidiče [10]

4.2 Kontrast

Hlavním požadavkem pro projektování přechodů pro chodce není jen zvolit správné osvětlení, ale hlavně zajistit správné rozpoznání chodce procházejícího přes přechod. Proto musíme dbát o správný kontrast osvětlení přechodu s pozadím.

Při rozhodování, zda použít pozitivní nebo negativní kontrast pro zvýraznění chodce na přechodu, je třeba vzít v úvahu nejen úroveň osvětlení komunikace, ale i okolí.

4.2.1 Stejný kontrast

Při špatném navržení přechodu se může stát, že bude osvětlený chodec splývat s pozadím přechodu, které může být také nasvětlené. Takové osvětlení se mihne účinkem a může vést spíše ke škodě než k užtku. Špatný kontrast je vidět na obrázku 16.



Obrázek 16.: Stejný jas chodce a pozadí [11]

4.2.2 Negativní kontrast

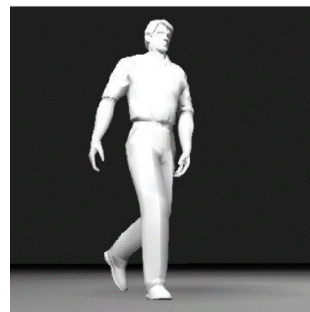
Pokud tedy už bude osvětlené okolí za přechodem je vhodným řešením nedávat k přechodu už vůbec žádné další osvětlení. Díky tomu dostane chodec negativní kontrast a bude vidět jako tmavá silueta na světlém pozadí, jak je znázorněno na obrázku 17. Za jasného dne je oko schopno rozpoznat kontrast 1:1,01.



Obrázek 17.: Negativní kontrast [11]

4.2.3 Pozitivní kontrast

Dalším a nejvíce častým je pozitivní kontrast, který vzniká přisvícením svítidel před přechodem z pohledu přijíždějícího vozidla. Pokud by se umístilo svítidlo přímo na hranu, tak by velká část dopadala na temeno hlavy a nebyl by chodec tolik vidět. Za noci, při relativně slabém osvětlení, jaké je na komunikacích, je potřebný mnohem větší kontrast. Za dostatečný lze považovat kontrast 1:3.



Obrázek 18.: Pozitivní kontrast [11]

[11]

4.3 Adaptační pásma

Adaptační pásma se zřizují kvůli přizpůsobení se oka různým hladinám osvětlenosti. Oko se dokáže přizpůsobit osvětleností v rozmezí přibližně od 0,25 lx do 10^5 lx. Oko se adaptuje změnou citlivosti zornice nebo změnou citlivosti fotoreceptorů. Adaptační pásma se zřizují na komunikacích třídy osvětlení M s hodnotou udržovaného jasu 1 cd/m^2 a vyšší. Řeší se stupňovitým snižováním udržovaného jasu směrem od přechodu k nejnižším hodnotám. Minimální hodnoty jednotlivých adaptačních pásem jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5.: Adaptační pásma [2]

Jas povrchu komunikace (cd.m^{-2}) Udržovaná hodnota	Minimální délky dílčích úseků s jasnem (cd.m^{-2}) Udržovaná hodnota			Celková délka adaptačního pásma (m)
	1,0	0,5	0,3	
$\bar{L} \geq 2,0$	100	100	150	350
$2,0 > \bar{L} \geq 1,5$	50	100	150	300
$1,5 > \bar{L} \geq 1,0$	-	100	150	250

U pozemních komunikací určujeme osvětlenost před, i za přechodem na základě povolené rychlosti v dané komunikaci podle normy ČSN P 36 0455 je dáno, že pokud se vozidlo pohybuje rychlostí 30 km/h, musí být osvětlení 50 m před přechodem. Umístění osvětlení 100 m před přechodem nastává při rychlostech do 50 km/h a při vyšších je pak vzdálenost až 150 m.

[2]

4.4 Rozhledové poměry

Pro chodce se umisťují přechody tak, aby bylo zajištěno včasné rozlišení chodce řidičem vozidla a aby se docílilo správného pohledového vztahu mezi řidičem a chodcem. Pro místa, kde omezují parkující vozidla nebo jiné překážky, se musí zajistit dostatečný rozhled, např. vytvořením chodníkových ploch. Aby nebyl omezen výhled na chodce přijíždějícím řidičem, je nutné tyto plochy chránit proti odstavování motorových vozidel sloupy nebo zelení. V tabulce 6 je popsáno minimální rozhledové pole v závislosti na povolené rychlosti, které musí být dodrženo, aby nedocházelo k přehlédnutí chodce řidičem.

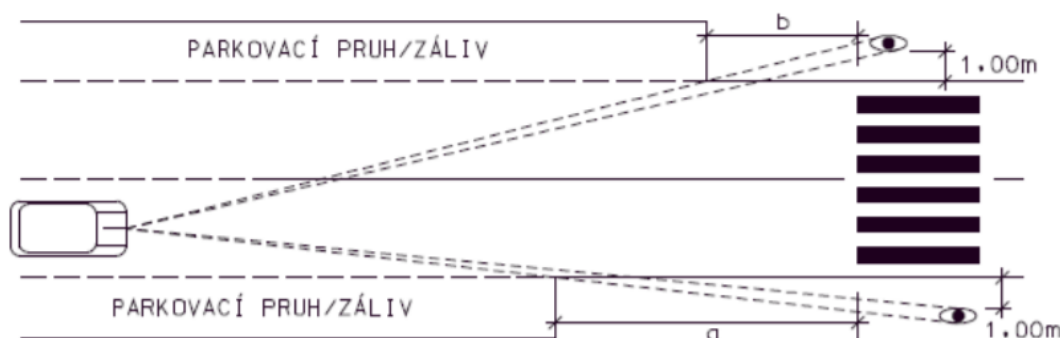
Na obrázku 19 jsou znázorněny délky volného rozhledového pole pro řidiče označované jako „a” a „b”. Délka rozhledového pole se měří od okraje přechodu.

V případě, kdy je přechod nebo místo na přecházení doplněno vysazenou chodníkovou plochou, která je předsazena před okraj jízdního pásu o více než 0,3 m, je možné zkrátit délky rozhledového pole na polovinu.

[12]

Tabulka 6.: Rozhledové poměry [12]

		Dovolená rychlost		
		50 km/h	40 km/h	30 km/h
Rozlišitelnost přechodu		100 m	60 m	50 m
Rozhledová vzdálenost na čekací plochy pro řidiče		50 m	35 m	30 m
Rozhled pro zastavení		35 m	25 m	15 m
a, b = délka volného rozhledového pole pro řidiče ve směru k vyznačenému přechodu	Na čekací plochu přechodu na pravé straně komunikace ve směru jízdy - a	20 m	15 m	10 m
	Na čekací plochu přechodu na levé straně komunikace ve směru jízdy - b	15 m	10 m	5 m

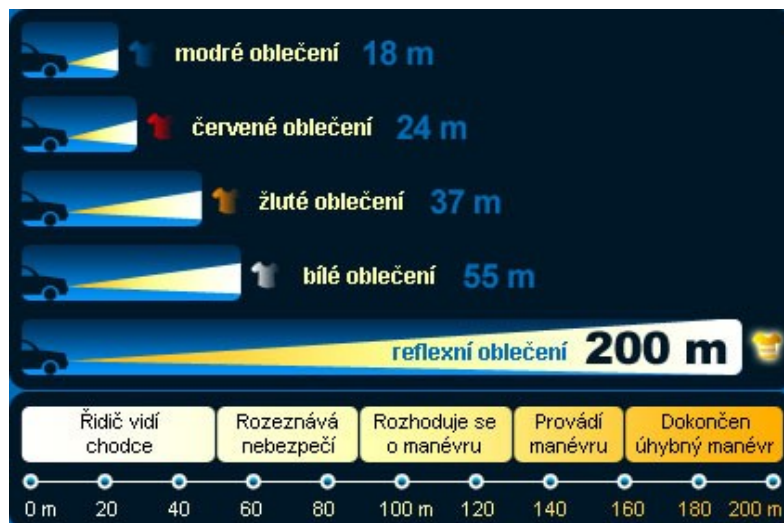


Obrázek 19.: Rozhled z vozidla na chodce [12]

4.5 Činitel odrazu

Oko vnímá kontrast jasů a barvy pozorovaných předmětů. Hodnota jasu závisí na dopadajícím světelném toku a odraznosti materiálů. Může být tedy řečeno, že závisí na osvětlenosti oblečení chodce a jeho doplňků. Vše se tedy vztahuje na volbu použití svítidla a světelného zdroje. Kvůli neměnnosti osvětlenosti chodce v prostoru přechodu bude vykazovat vyšší jas ten chodec, který má vyšší odraznost oděvu. Na obrázku 20 je popsáno jaký dopad má barva oděvu chodce z hlediska upoutání pozornosti řidiče.

Ve tmavém oblečení je na silnici chodec téměř neviditelný, a to i na tom nejlépe přisvětleném přechodu. Na viditelnosti chodce ovšem závisí mnoho dalších parametrů a to např. světelné zdroje použité ve světlometech vozidla nebo z jaké polohy a úhlu je chodec osvětlován. [13][14]



Obrázek 20.: Viditelnost chodce s různou barvou oblečení [13]

Ze známých hodnot osvětlenosti a jasu je možné získat odraznost oděvů chodců.

$$\rho = \frac{L \cdot \pi}{E} \quad (-, \text{cd/m}^2, \text{lx}) \quad (4.1)$$

Je žádoucí vědět pro všeobecné posouzení odraznosti průměrnou hodnotu, kvůli velké odlišnosti poměrné odrazností oděvů. Je však nutné zmínit, že se nejedná o obecně platný vztah.

[14]

5 Měření reálné soustavy

5.1 Popis měřené soustavy

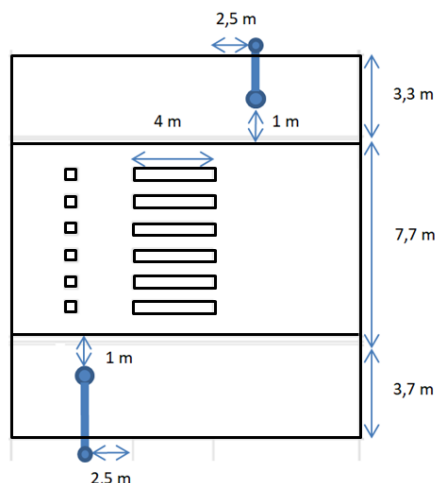
Pro měření a následný návrh optimalizace byl zvolen přechod pro chodce v městě Bohumín v ulici Jana Palacha. Samotný přechod je součástí projektu „Opatření ke snížení energetické náročnosti VO Bohumín“, ve kterém se jedná o výměnu starých svítidel s velkou energetickou náročností za nová LED svítidla. V určitých částech navíc osvětlovací soustava nevyhovuje potřebným světelně-technickým parametrům stanoveným Generalem VO. Osvětlovací soustava tedy musí být doplněna o další světelné body tak, aby splňovala předepsané parametry. Po realizaci projektu, ve kterém se postupně nainstalovalo 58 nových svítidel s LED technologií, bude možné ročně ušetřit mnohem více elektrické energie.



Obrázek 21.: Lokalizace měřeného přechodu



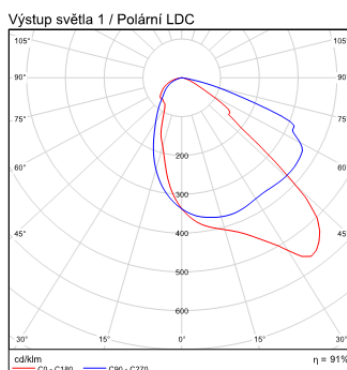
Obrázek 22.: Noční fotodokumentace přechodu při směru jízdy k servisu



Obrázek 23.: Geometrické vlastnosti reálného přechodu

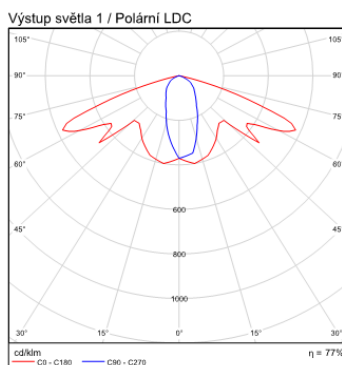
Přechod se nachází v oblasti, kde komunikace měří na šířku 7,7 m. Kvůli navazující cyklostezce je v blízké oblasti přechodu zaznačena i část silnice určená pro přejezd cyklistů. Z obou stran silnice jsou chodníky o šířce 3,7 m směrem k servisu a 3,3 m směrem k mostu. Osvětlení přechodu je řešeno dvěma LED svítidly s asymetrickou křivkou svítivosti Phillips Luma ve výšce 6 m, vzdálenosti 2,5 m od přechodu a 1 m od okraje silnice. Šířka značení přechodu měří 4 m. Pro osvětlení pozemní komunikace byly použity vysokotlaké sodíkové výbojky GEWISS INDY 100W se symetrickou křivkou svítivosti osazené ve výšce 8 m.

Výrobce	Phillips
Typ	Luma
Příkon	71 W
Světelný tok	12 000 lm
Tc	5000 K
Ra	>70
Světelný výkon	154,9 lm/W



Obrázek 24.: Údaje o použitém zdroji a svítidle pro přechod pro chodce

Výrobce	GEWISS
Typ	INDY 1
Příkon	100W
Světelný tok	10 700 W
Tc	2000 K
Ra	> 70
Světelný výkon	71,4 lm/W



Obrázek 25.: Údaje o použitém zdroji a svítidle pro VO

5.2 Měření stávajících parametrů přechodu

5.2.1 Postup měření

Měření světelných parametrů se uskutečnilo v pozdních hodinách, tak aby byly pro měření co nejvhodnější podmínky. Měření bylo provedeno pomocí Luxmetru RAdioLux 111 Krochman, kdy se naměřila horizontální a vertikální osvětlenost v oblasti přechodu pro chodce v obou směrech jízdy řidiče dle předpisu TKP 15. Dále byla naměřena horizontální osvětlenost VO v blízkosti přechodu, tyto hodnoty budou použity k vyhodnocení adaptačního pásma. Jako další věc se pomocí figuríny a Jasového analyzátoru LMK Mobile advanced změřily jasy ze vzdálenosti 34 m v obou příjíždějících směrech komunikace. Následně byly z naměřených hodnot vypočítány průměrné hodnoty osvětlenosti pomocí vztahu:

$$E_m = E_{m0} \cdot z \quad (lx, lx -) \quad (5.1)$$

Z důvodu různého typu životnostního parametru svítidel je pro veřejné osvětlení použita hodnota udržovacího činitele „z” 1 a pro nová LED svítidla umístěná na přechodu pro chodce je zvolena hodnota 0,7.

Poté byla vypočtena rovnoměrnost osvětleností ze vztahu:

$$u = \frac{E_{min0}}{E_{m0}} \quad (-, lx, lx) \quad (5.2)$$

Měření bylo uskutečněno 29. 03. 2019 v Bohumíně na ulici Jana Palacha v čase 20:00 až 22:00 při teplotě 12°C a atmosférickém tlaku 1021 hPa.

5.2.1.1 Použité měřicí přístroje

Luxmetr RadioLux 111

Výrobce: PRC Krochman

Přesnost: $\pm(2\% \text{ MH})$

Sériové číslo: No.100612

Rozsah: 0,001 lx ÷ 360 klx ve 3 rozsazích

Jasový analyzátor LMK Mobile advanced

Výrobce: Canon

Rozšířená nejistota měření: 4,7%

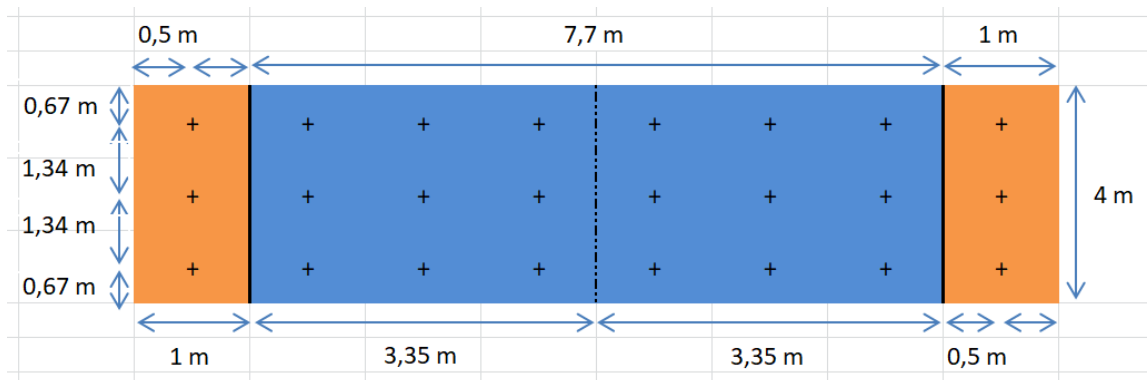
Výrobní číslo: 2380521307

Rozsah: 0,3cd/m² ÷ 50 000 kcd/m²



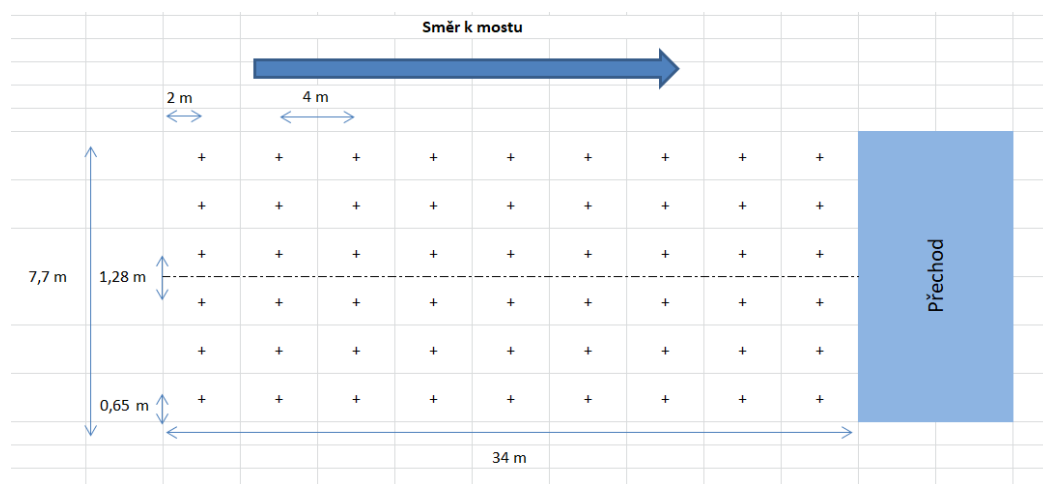
Obrázek 26.: Použité měřicí přístroje

Na přechod pro chodce byl vynesena rastr s měřenými body pro vertikální osvětlenost ve výšce 1 m a horizontální osvětlenost na úrovni vozovky. Vertikální osvětlenost byla měřena v obou směrech provozu.

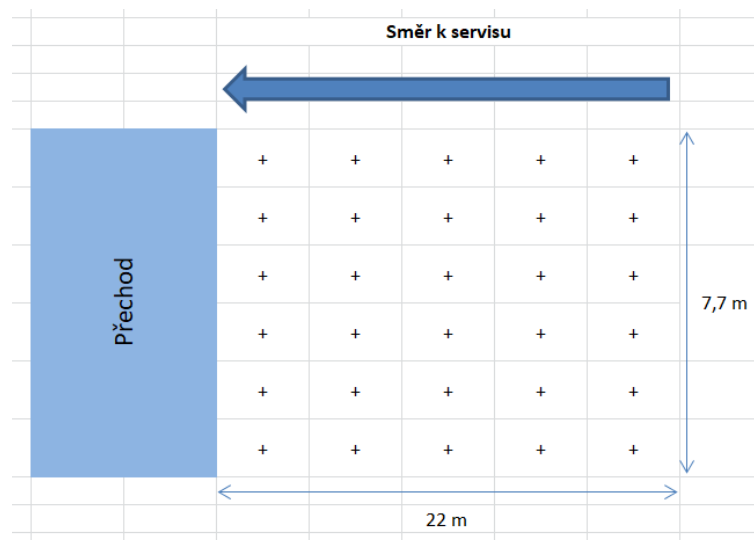


Obrázek 27.: Zvolený rastr k měření přechodu

Výpočtové body pro horizontální osvětlenost adaptačních pásem (VO) jsou rozděleny do dvou rastrů z obou stran přechodu. Jako společný bod se volila poloha svítidla blíže k mostu. Celková délka rastru veřejného osvětlení je 60 m, kde samotný přechod pro chodce má 4 m.



Obrázek 28.: Rastr pro adaptační pásma směrem k mostu



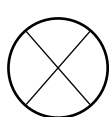
Obrázek 29.: Rastr hodnot směrem k servisu

5.2.2 Naměřené a vypočtené hodnoty osvětlenosti

Zde jsou zapsány naměřené a vypočtené hodnoty jak horizontální, tak vertikální osvětlenosti.

5.2.2.1 Vertikální osvětlenost

Tabulka 7.: Naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti [lx] pro směr jízdy k servisu



Směr jízdy

1.Nástup	Přechod						2.Nástup
85,55	75,2	71,66	69,07	63,52	58,83	58	24,1
109,1	110,1	95,4	85,7	68,25	51,4	33,14	23,5
50,8	58,3	47,9	42,4	35,9	32,3	29,5	24

Příklad výpočtu 1. nástupu

$$E_{vm} = \frac{E_{v1} + E_{v2} + E_{v3}}{3} \cdot z \quad (5.3)$$

Kde:

E_v jsou 3 naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti 1 metr nad vozovkou v oblasti nástupního prostoru [lx]

z je hodnota udržovacího činitele [-]

E_{vm} je vypočtená průměrná vertikální hodnota udržované osvětlenosti

$$E_{vm} = \frac{85,55 + 109,1 + 50,8}{3} \cdot 0,7 = 65,45 \text{ lx}$$

$$E_{vmin} = E_{min} \cdot z = 50,8 \cdot 0,8 = 40,64 \text{ lx}$$

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_m} = \frac{40,64}{65,45} = 0,62 \text{ lx}$$

Podle tohoto postupu jsou následně vypočteny i ostatní hodnoty osvětlenosti s rozdílem použití více hodnot pro samotný přechod.

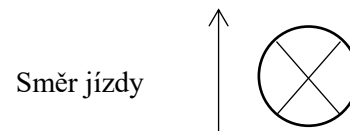
$$E_{vm} = \frac{E_{v1} + E_{v2} + E_{v3} + \dots + E_{v18}}{18} \cdot z \quad (5.4)$$

Tabulka 8.: Vypočtené hodnoty vertikální osvětlenosti [lx] pro směr jízdy k servisu

	E_{vm} [lx]	E_{vmin} [lx]	U_0 [-]
1.Nástup	57,27	35,56	0,62
Přechod	43,31	21,00	0,48
2.Nástup	16,71	16,45	0,98

Tabulka 9.: Naměřené hodnoty vertikální osvětlenosti [lx] pro směr jízdy k mostu

1.Nástup	Přechod						2.Nástup
20,72	29,4	34,6	37,7	44,6	48,1	48	48,57
23,3	34,6	45,5	53,5	69,5	86,1	99,5	108
19,9	30	39,5	44,5	48,2	54,8	43,3	67,2



Tabulka 10.: Vypočtené hodnoty vertikální osvětlenosti [lx] pro směr jízdy k mostu

	E_{vm} [lx]	E_{vmin} [lx]	U_o [-]
1.Nástup	14,91	13,93	0,93
Přechod	34,66	21,00	0,61
2.Nástup	52,21	34,00	0,65

5.2.2.2 Horizontální osvětlenost

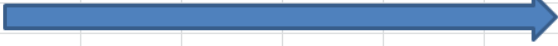
Tabulka 11.: Naměřené hodnoty horizontální osvětlenosti [lx] přechodu pro chodce

1.Nástup	Přechod						2.Nástup
118	115,8	113,6	118	116,5	123	123	120,1
133,4	150	151,7	152	149,5	155,3	157,4	150,5
112,5	139,5	140	138	136,7	136,2	135,2	131


Tabulka 12.: Vypočtené hodnoty horizontální osvětlenosti [lx] přechodu pro chodce

	E_{hm} [lx]	E_{hmin} [lx]	U_o [-]
1.Nástup	84,91	78,75	0,93
Přechod	95,33	79,52	0,83
2.Nástup	93,71	84,07	0,90

Tabulka 13.: Hodnoty horizontální osvětlenosti VO [lx] pro směr jízdy k mostu

Směr k mostu									
									
2	6	10	14	18	22	26	30	34	38
53	24	19,7	11,3	7,8	9	5,4	14,4	86,3	Přechod
40	20,5	17,1	11,3	8,8	6,9	6,6	19,5	85	
29	18	15,6	10,5	9	7,9	7,9	21,5	86,7	
23	15	12,71	10,19	9,9	9,2	9,7	21,3	81,5	
15,19	11	10,72	10	11	11,7	11,2	29,4	89	
12,55	8,5	8,6	10,5	14	12,5	13,2	40	106	

Tabulka 14.: Hodnoty horizontální osvětlenosti VO [lx] pro směr jízdy k servisu

Směr k servisu					
					
38	42	46	50	54	58
Přechod	124	75	14	7,8	9,1
	124	58	13,2	9,2	11,7
	119,8	45	12,2	9,7	14,9
	118,8	35,5	12	10,4	18,5
	120	25	11,7	12,6	24,5
	125	20,5	12,5	15,8	33,5

Pozn. Z tabulek 13 a 14 je zřetelně vidět zvyšování hodnot směrem k blízkosti přechodu. To je způsobeno doplňujícím osvětlením přechodu.

Tabulka 15.: Vypočtené hodnoty VO, neboli adaptačních pásem

Měřený referenční úsek	E_m [lx]	E_{min} [lx]	U_o [-]
Směr k mostu	23,52	5,4	0,23
Směr k servisu	41,46	7,8	0,19

Tabulka 16.: Vypočtené hodnoty VO bez posledních měřících bodů

Měřený Referenční úsek	E_m [lx]	E_{min} [lx]	U_o [-]
Směr k mostu	15,33	5,4	0,35
Směr k servisu	21,35	7,8	0,36

Pozn. Tím že se odstranili z výpočtu poslední čtyři nejbližší body rastru VO z obou stran přechodu, byla získána lepší rovnoměrnost a tím pádem i méně zkreslené informace o osvětlenosti vozovky bez osvětlení přechodu.

5.3 Vyhodnocení měření

Již při prvním pohledu na obrázek 22 je jasné, že se jedná o výrazně přesvětlený přechod pro chodce vzhledem k veřejnému osvětlení komunikace. Důkazem je i samotné měření, kdy průměrná horizontální osvětlenost přechodu vyšla 95,33 lx a oproti tomu průměrné horizontální osvětlenost VO byly změřeny hodnoty 15,33 lx ve směru jízdy k mostu a 21,35 lx k servisu. Dále jsou červeně zvýrazněny v tabulkách 8 a 9 nevyhovující nízké hodnoty vertikální osvětlenosti v doplňkovém prostoru. Z měření byly zjištěny velké rozdíly ve vertikální osvětlenosti nástupních zón, jak je zapsáno v tabulkách 9 a 10. Minimální rovnoměrnost horizontální a vertikální osvětlenosti na přechodu pro chodce 0,4 je splněna. Další známkou špatně navrženého přechodu je příliš velký kontrast teplot chromatičnosti mezi VO a přechodem, kdy světelné zdroje na přechodu mají $T_c = 5\,000\text{ K}$, zatímco vysokotlaké sodíkové výbojky použité na pozemní komunikaci mají hodnotu 2 000 K. Velké hodnoty horizontální osvětlenosti přechodu jsou z největší části způsobeny špatnou volbou a vyložením svítidel.

$$E_{mp} = \frac{E_{m1} + E_{m2}}{2} = \frac{15,33 + 21,35}{2} = \mathbf{18,34 \text{ lx}} \quad (5.5)$$

Z obou směrů jízdy k přechodu byla vypočítaná průměrná udržovaná horizontální osvětlenost VO 18,34 lx, ze které se určily dovolené hodnoty vertikální osvětlenosti přechodu.

Tabulka 17.: Zvolené hodnoty požadované udržované osvětlenosti

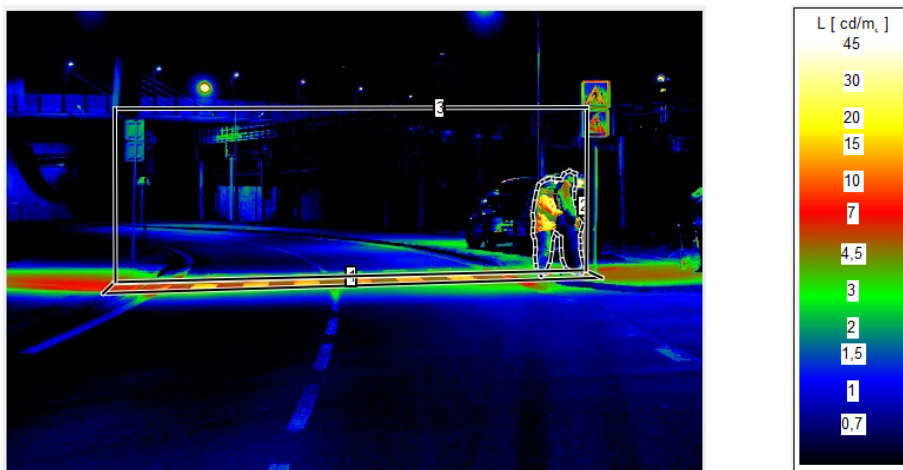
Udržovaná hodnota		Udržovaná průměrná svislá osvětlenost (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	horizontální osvětlenost pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		prostor		všechny prostory
		základní	doplňkový	
$1,5 < L$	$50 < E$	přisvětlení se nezřizuje		
$1,0 < L < 1,5$	$30 < E < 50$	75	50	200
$0,75 < L < 1,0$	$20 < E < 30$	50	30	150
$0,5 < L < 0,75$	$10 < E < 20$	30	20	100
$L < 0,5$	$E < 10$	15	10	50

V tabulkách 8 a 10 můžeme vidět, že průměrné vertikální osvětlenosti v doplňkovém prostoru jsou menší než dovolené. Při návrhu optimalizace se tedy budeme zabírat zlepšením průměrné vertikální a horizontální osvětlenosti přechodu, abychom dosáhli předepsaného kontrastu mezi již zmíněnými osvětlenostmi. V neposlední řadě navrhne vhodnější světelný zdroj s menší teplotou chromatičnosti.

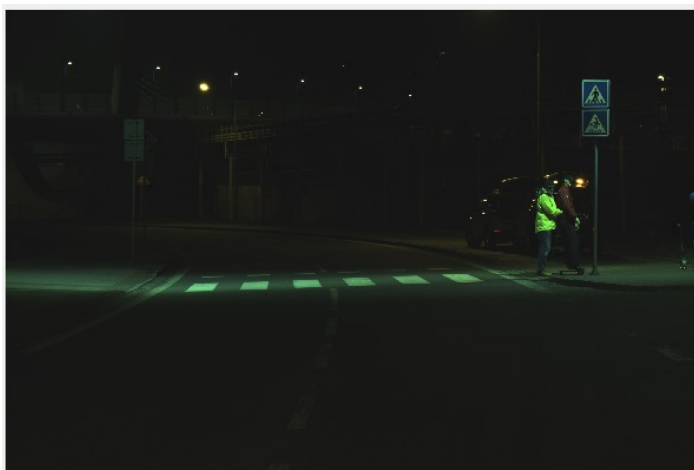
5.4 Jasová analýza

Pro tyto snímky byl použit dlouhý objektiv, zvolena clona jasového analyzátoru F4 a citlivost čipu ISO 200. Aby se daly zachytit i ty nejnižší jasy, bylo potřeba použít dlouhý čas uzávěrky $\frac{1}{8}$ s.

Analyzátor byl umístěn ve středu příjezdějícího pruhu 34 m od přechodu. Byly vybrány dva snímky, a to z obou příjezdějících směrů k přechodu, na kterých jsou znázorněny i různé pozice chodce. Na obrázcích 30 a 31 je chodec v oblasti doplňkového prostoru směrem jízdy k mostu a na obrázcích 32 a 33 je chodec v oblasti základního prostoru ve směru jízdy k servisu. Maximální, minimální a průměrné jasy byly zapsány do tabulky 17 a 18. V jasové analýze byly rozděleny 3 posuzovací prostory a to pozadí, chodec a přechod s doplňkovými prostory.



Obrázek 30.: Jasová analýza přechodu ve směru jízdy k mostu



Obrázek 31.: Fotodokumentace ve směru jízdy k mostu

Tabulka 18.: Naměřené hodnoty jasové analýzy směrem jízdy k mostu

Oblast	jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)		
	maximální	minimální	průměrný
chodec	42,16	0,11	4,15
přechod	19	0,12	6,73
pozadí	44,07	0,093	0,8

Byly vypočítány kontrasty jasu mezi přechodem a pozadím a pozadím a chodcem

$$K_{\text{přechod-pozadí}} = \frac{|L_{\text{př}} - L_{\text{p}}|}{L_{\text{p}}} = \frac{|6,73 - 0,8|}{0,8} = 7,41 \quad (5.6)$$

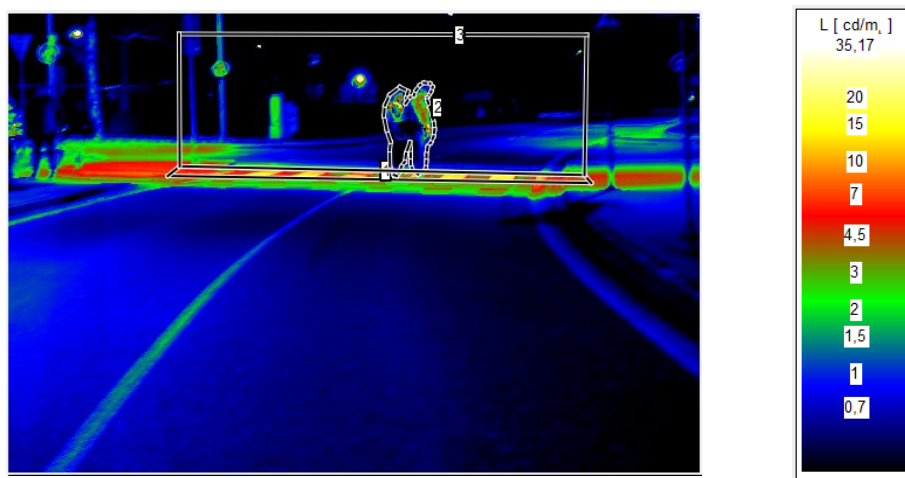
$$K_{\text{chodec-pozadí}} = \frac{|L_{\text{ch}} - L_{\text{p}}|}{L_{\text{p}}} = \frac{|4,15 - 0,8|}{0,8} = 4,19 \quad (5.7)$$

Kde:

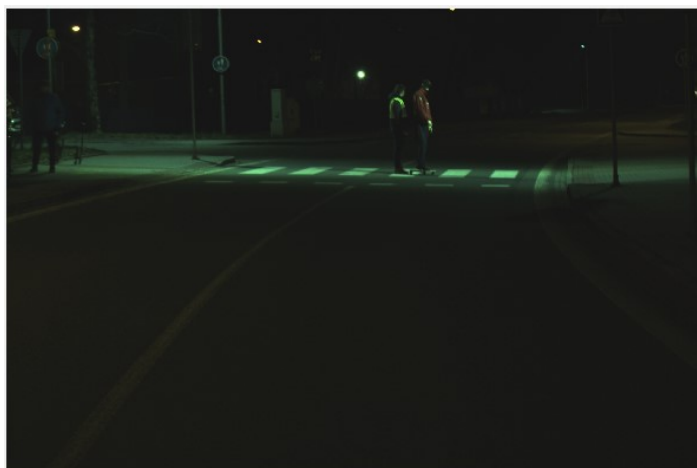
L_{ch} je jas chodce

L_{p} je jas pozadí

$L_{\text{př}}$ je jas přechodu



Obrázek 32.: Jasová analýza přechodu směrem jízdy k servisu s chodcem v základním prostoru



Obrázek 33.: Fotodokumentace chodce v základním prostoru přechodu ve směru jízdy k servisu

Tabulka 19.: Naměřené hodnoty jasové analýzy směrem jízdy k servisu

Oblast	jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)		
	maximální	minimální	průměrný
chodec	16,07	0,14	1,93
přechod	22,97	0,67	6,44
pozadí	35,07	0,114	0,6

$$K_{\text{přechod-pozadí}} = \frac{|L_{\text{př}} - L_{\text{p}}|}{L_{\text{p}}} = \frac{|6,44 - 0,6|}{0,6} = 9,73$$

$$K_{\text{chodec-pozadí}} = \frac{|L_{\text{ch}} - L_{\text{p}}|}{L_{\text{p}}} = \frac{|1,93 - 0,8|}{0,8} = 1,41$$

Kde:

L_{ch} je jas chodce

L_{p} je jas pozadí

$L_{\text{př}}$ je jas přechod

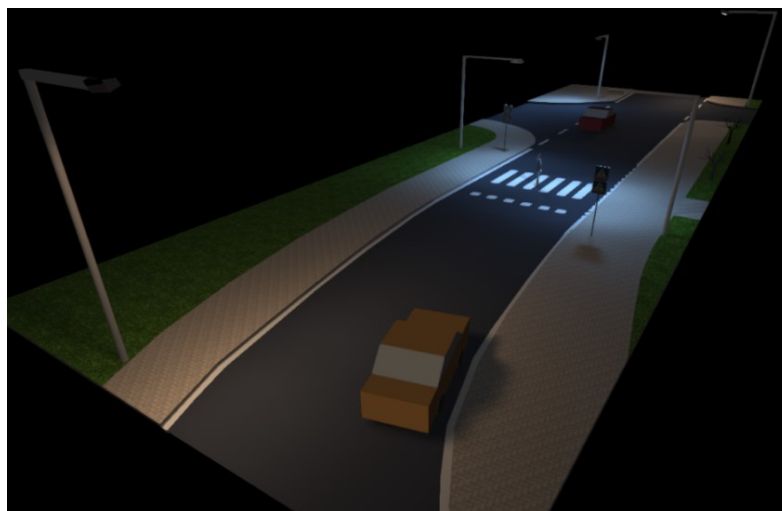
5.5 Zhodnocení jasové analýzy

Pro zhodnocení byla použita stejná přednastavená lineární měřítka jasů v programu LMK Labsoft. Z jasové analýzy je jasné patrné že se jedná o přechod s pozitivním kontrastem. Právě díky nízké osvětlenosti pozemní komunikace tento přechod splňuje hodnoty poměru kontrastu vertikální osvětlenosti mezi chodcem a pozadím 1:3 v obou směrech. Z hlediska horizontální osvětlenosti je přechod oproti pozadí výrazně přesvětlený. Z měření bylo zjištěno, že jas chodců je větší v doplňkovém prostoru ve směru jízdy k mostu než v základním prostoru ve směru jízdy k servisu. Je nutno dodat že velmi závisí na oblečení chodců. Chodec na obrázku 30 má na sobě žlutou bundu s velkou odrazností, kdežto chodec na obrázku 33 má jen žlutou vestu. Pokud vezmeme v potaz figurínu, která má na sobě červenou bundu a tmavé kalhoty, odraznosti jsou poměrně stejné v obou směrech. Je dobré si všimnout i právě velkého kontrastu spodní a vrchní části oblečení chodce. Velký maximální jas pozadí oběma směry jízdy výrazně ovlivňují svítidla, která nejsou součástí měřené komunikace.

6 Návrh optimalizace osvětlení

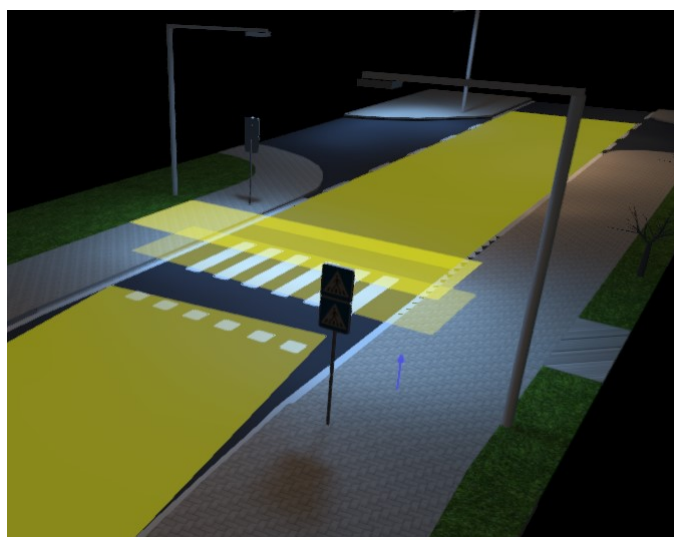
Při návrhu optimalizace se klade důraz na zlepšení rovnoměrnosti průměrné udržované vertikální a horizontální osvětlenosti přechodu. V neposlední řadě je navržen světelný zdroj s vhodnější křivkou svítivosti s menší teplotou chromatičnosti.

Optimalizace osvětlení je realizována pomocí programu Dialux Evo, ve kterém se navrhla vhodná úprava již změřené reálné osvětlovací soustavy. V programu se postupovalo podobně jako v měření. Byl vytvořen model shodný s reálnou naměřenou soustavou, tím je myšlena šířka vozovky, umístění sloupů atd...



Obrázek 34.: Dialux Model ul. Jana Palacha

Následně se v modelu vytvořila totožná rozdělení bodů v rastru jak pro vertikální, tak pro horizontální osvětlenost.

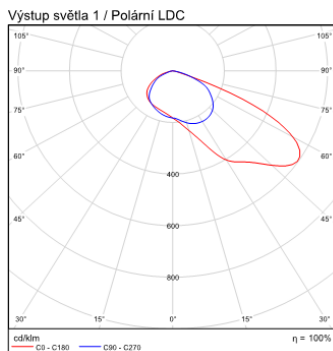


Obrázek 35.: Dialux Model horizontální a vertikální osvětlenosti

6.1 Popis optimalizace reálného přechodu

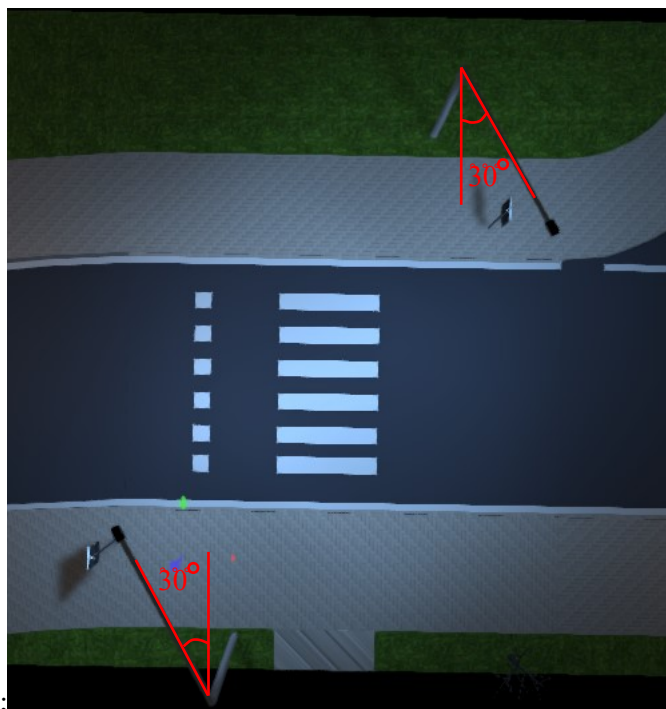
Kvůli nízké vertikální a velmi vysoké horizontální osvětlenosti přechodu bylo zvoleno nové svítidlo s vhodnější křivkou svítivosti, menším světelným tokem i nižší nahradní teplotou chromatičnosti. Konkrétně svítidlo IVS CivitEQ od firmy Thorn Lighting, které je přímo designované pro přisvětlování přechodů pro chodce.

Výrobce	Thorn
Typ	IVS/CQ36L70
Příkon	77 W
Světelný tok	10 370 lm
Tc	4000 K
Ra	>70
Světelný výkon	135 lm/W



Obrázek 36.: Nové svítidlo

Aby se dosáhlo větší vertikální rovnoměrnosti mezi doplňkovými a základním prostory, bylo vyložení svítidla prodlouženo o 1 metr a pootočeno o 30° směrem od přechodu, tím se zmenšila i horizontální osvětlenost v daném prostoru.



Obrázek 37.: Navržená poloha svítidla

Dále byl snížen výkon LED svítidel z původních 12 000 lm na 10 370 lm, který zajistí správný kontrast osvětlenosti mezi komunikací a přechodem pro chodce. V neposlední radě se snížila teplota chromatičnosti na 4 000 K z původních 5 000 K.

6.2 Výsledky a porovnání optimalizovaného přechodu

Tabulka 20.: Porovnání vertikální osvětlenosti směrem jízdy k mostu

	Reálná Osvětlenost			Návrh optimalizace		
	E_{vm} [lx]	E_{vmin} [lx]	U_o [-]	E_{vm} [lx]	E_{vmin} [lx]	U_o [-]
1.Nástup	14,91	13,93	0,93	29,5	27,4	0,93
Přechod	34,66	21,00	0,61	44	33,3	0,76
2.Nástup	52,21	34,00	0,65	30,6	29,3	0,96

Tabulka 21.: Porovnání vertikální osvětlenosti směrem jízdy k servisu

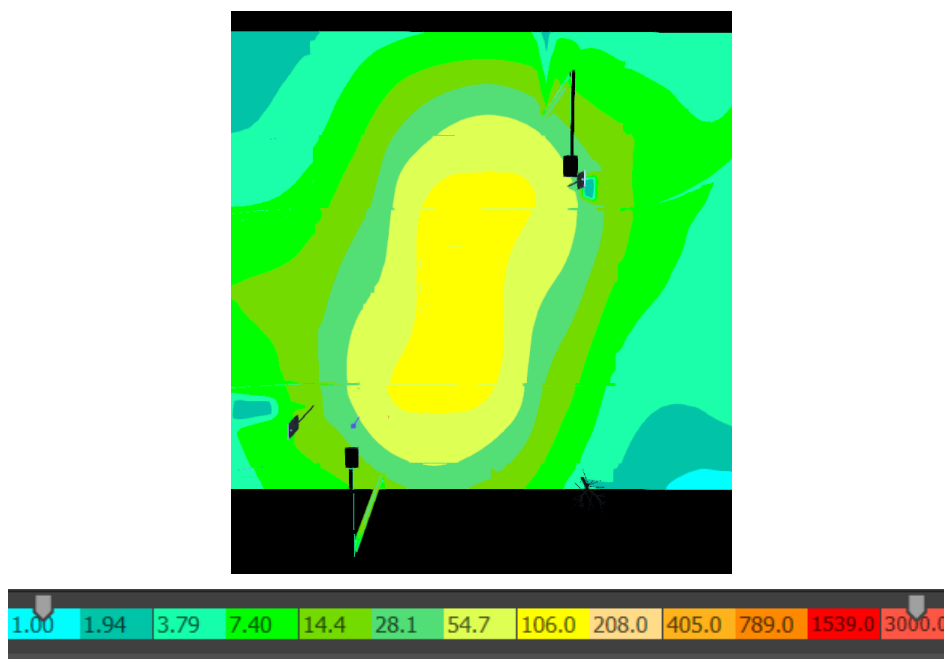
	Reálná Osvětlenost			Návrh optimalizace		
	E_{vm} [lx]	E_{vmin} [lx]	U_o [-]	E_{vm} [lx]	E_{vmin} [lx]	U_o [-]
1.Nástup	57,27	35,56	0,62	34,1	33,2	0,97
Přechod	43,31	21	0,48	48,3	34,7	0,72
2.Nástup	16,71	16,45	0,98	29,2	28,3	0,97

Tabulka 22.: Porovnání horizontální osvětlenosti

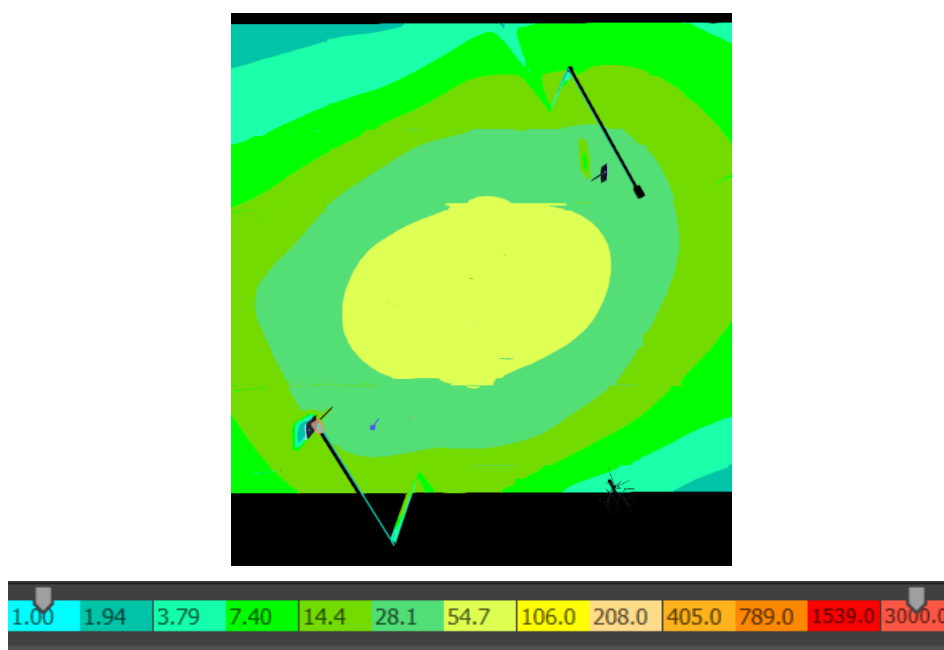
	Reálná Osvětlenost			Návrh optimalizace		
	E_{hm} [lx]	E_{hmin} [lx]	U_o [-]	E_{hm} [lx]	E_{hmin} [lx]	U_o [-]
1.Nástup	84,91	78,75	0,93	47,6	46,7	0,98
Přechod	95,33	79,52	0,83	63,5	53,4	0,84
2.Nástup	93,71	84,07	0,9	45,2	43,9	0,97

Pozn. V tabulkách jsou červeně vyznačeny hodnoty nevyhovujících osvětleností reálného přechodu a také již nově navržené osvětlenosti přechodu po optimalizaci, které jsou zvýrazněny zeleně

Posunutím a natočením svítidla se docílilo výrazně větší vertikální rovnoměrnosti osvětlenosti mezi prostory doplňkovými a základním prostorem, jak je zapsáno v tabulkách 20 a 21.



Obrázek 38.: Nepravé barvy reálného přechodu v programu Dialux



Obrázek 39.: Nepravé barvy navrženého přechodu v programu Dialux

Pozn. Nyní je osvětlena i část přechodu, která je vyhrazena pro přejíždějící cyklisty. Z porovnání nepravých barev reálného a optimalizovaného přechodu se může zdát, že má optimalizovaný přechod horší parametry. Ovšem opak je pravdou, protože tyto obrázky znázorňují jen horizontální osvětlenost vozovky a nástupních prostorů.

Na figurínu byl vynesen rastr se třemi body, ze kterých se vyhodnotila osvětlenost chodce v základním prostoru. Pro porovnání byly znázorněny situace přijíždějícího vozidla ve směru k servisu optimalizovaného a reálného přechodu v programu Dialux Evo.



Obrázek 40.: Optimalizovaný přechod s chodcem v základním prostoru



Obrázek 41.: Reálný přechod s chodcem v základním prostoru

Tabulka 23.: Porovnání průměrných osvětleností chodce

	Reálný přechod	Optimalizovaný přechod
Ech (lx)	63,3	55.1

Osvětlenost reálného přechodu je v místech, kde se nachází chodec, větší než u navrženého. Rozdíl je ale zanedbatelný oproti zlepšení celkové rovnoměrnosti a zmenšení světelného toku svítidla o 1630 lm.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo měření reálné osvětlovací soustavy osazené LED svítidly s různou teplotou chromatičnosti přechodu pro chodce a následný návrh optimalizace.

Teoretická část se zabývá popisem LED svítidel, postupem pro navrhování správného přechodu pro chodce a problematikou parametrů ovlivňujících viditelnost chodce na přechodu. V práci byl také rozebrán růst trendu výkonu LED svítidel, podle kterých je možné očekávat postupné nahrazování všech ostatních zdrojů právě svítidly s LED technologií.

V praktické části bylo provedeno kontrolní měření horizontální, vertikální osvětlenosti a jasová analýza přechodu ve městě Bohumín.

Poté proběhlo zhodnocení měření, ze kterého byly zjištěny chyby při zřizování této soustavy. Při vyhodnocování veřejného osvětlení komunikace se muselo pracovat s lehce zkreslenými naměřenými hodnotami. Tím že byly z výpočtu odstraněny poslední 4 nejbližší naměřené hodnoty u přechodu, byly získány věrohodnější hodnoty VO. Jasové snímky byly pořízeny v obou příjíždějících směrech k přechodu ze vzdálenosti 34 m. Změřený přechod splňuje podmínky kontrastu mezi chodcem a pozadím. Jasová analýza jasně poukazuje na důležitost odraznosti oděvu chodce na přechodu.

Následně byl zhotoven návrh optimalizace, tak aby podléhal všem zákonitostem popsaným v předpisu TKP 15. Z výsledné navržené soustavy je dokázáno, že je možné jen pouhým správným vyložením svítidla a vhodným použitím optiky výrazně zlepšit parametry přechodu. Tento navržený přechod nyní splňuje všechny požadavky podle předpisu TKP 15.

Na základě vypracování této bakalářské práce si odnáším velký přínos ve znalostech problematiky osvětlování přechodů pro chodce, kde jsem se naučil měřit horizontální a vertikální osvětlenost pomocí luxmetru a vypracovat jasovou analýzu z nafocených snímků pomocí softwaru LMK Labsoft. V neposlední řadě jsem získal znalosti v projektování přechodů v programu Dialux Evo.

Na závěr bych rád dodal, že jsem se v den měření tohoto přechodu zúčastnil i dalších, které byly řešeny ještě horším způsobem. Přestože se jedná o jedny z nejnebezpečnějších míst na pozemních komunikacích, nevěnuje se přechodům stále dost pozornosti. V budoucích pracích bych se rád dále zabíral řešením přechodů a jejich správnému osvětlení z hlediska bezpečnosti.

Seznam použité literatury

- [1] SOKANSKÝ, Karel. Světelná technika. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9
- [2] ČSN P 36 0455 *Osvětlení pozemních komunikací - Doplňující informace*
- [3] HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3
- [4] TKP, kapitola 15, *Osvětlení pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací. 2015*
- [5] CRI - index podání barev. LED-PRODUKTY.cz - LED osvětlení a pásy pro každého [online]. Dostupné z: <https://www.led-produkty.cz/uzitecne-clanky/cri-index-podani-barev/>
- [6] *Odborné časopisy* [online]. Copyright © [cit.07.04.2019]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37603.pdf>
- [7] osvetleniprechodu1. Home [online]. Dostupné z: http://www.electrosun.cz/html/osvetleniprechodu1.html?fbclid=IwAR3TXXYp9dwHxh9RqSqqmMQKMxIU2OphCcFa7EQOTUYXKIUdRpkPI_fISM
- [8] [online].Dostupné z: https://www.elektro.tzb-info.cz/osvetleni/8343-vyvojove-tendence-ve-svetelných-zdrojích-a-svitidlech?fbclid=IwAR3NzhCL7vNx5p04JrYFpjrdVU7DROc_Twjut6IQSBOejZII0aQOa4KT1AE
- [9] [online].Dostupné z: <https://www.cs.wikipedia.org/wiki/LED?fbclid=IwAR1xv9OCVf1H4-EtVslvOPTdb78AxC41yf73KcDJ1y0i6USdTycJ3QgTcWY>
- [10] Reakční doba řidiče. Jiří Plch, Doc.,Ing.,CSc. - PDF. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 10.04.2019]. Dostupné z: https://docplayer.cz/10899230-Reakni-doba-ridice-jiri-plch-doc-ing-csc-jiri_plch-volny-cz.html
- [11][online].Dostupné z: <https://stavebniklub.cz/33/osvetlovani-prechodu-pro-chodce-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EsriOTq34uiLdvP4-uUTiUo>
- [12][online].Copyright©[cit.07.04.2019].Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/PKO/novak.m/bm03/prednasky/07.pdf>
- [13][online].Dostupné z: http://pankuzel.cz/cz/pravidla/reflexni-materialy?fbclid=IwAR0HiJp1EdS1tOqcqwXNGPtCHYwibK2ILMqLMhk1_hV9Un8p-P9xDxZpFRg

[14] *DSpace VŠB-TUO* [online]. Copyright © [cit. 07.04.2019]. Dostupné z:

http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/119102/BEC0035_FEI_N2649_3907T001_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1H9_jmjr8tYeBfeKplEvsyUgYE-QvtbVKhgEdb5YfZmhn3iGnnSREafZo

[15] *DSpace VŠB-TUO* [online]. Copyright ©2000 [cit. 07.04.2019]. Dostupné z:

http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/128553/KLU0047_FEI_B2649_3907R001_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1IY-fO4kRfnXovXAVcPTAOQJCUh3sASM8HsgvHqVofWGXJ3VILJoYnabM

[16] *ČVUT DSpace* [online]. Copyright ©E [cit. 07.04.2019]. Dostupné z:

https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/64870/F3-DP-2016-Vanovich-Andrei-Navrh_osvetleni_pozemni_komunikace.pdf?sequence=1&isAllowed=y